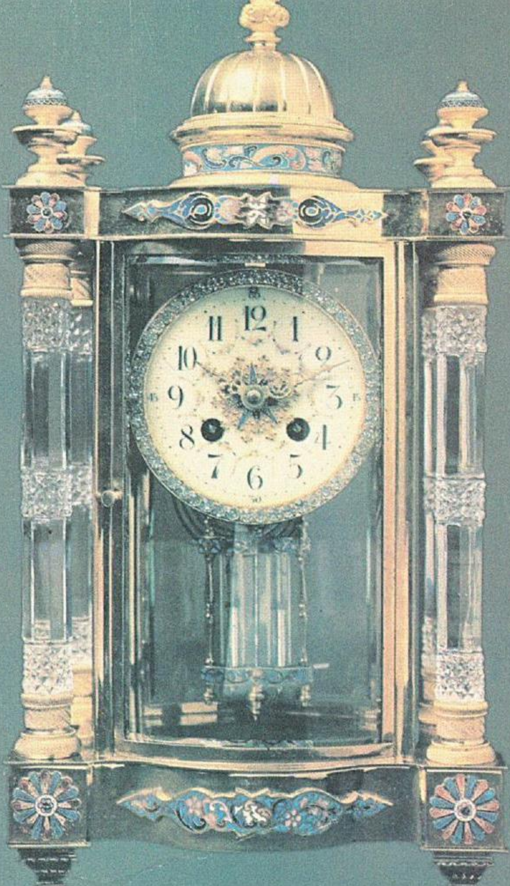
مهرجان القراءة للجميع ١٩٩٨

مكتبة الأسرة



المفهوم الحديث للمكان والزمان

تأليف: ب. س. ديفيز

ترجمة: د. السيد عطا

الأعمال العلمية

الهيئة المصرية
العامة للكتاب

إهـــــــداء2006

ورثة الكيميائي/ محمد فاروق الفران

الإسكندرية

المفهوم الحديث
للمكان والزمان

المفهوم الحديث للمكان والزمان

تأليف : ب. س. ديفيز
ترجمة : د. السيد عطا

مهرجان القراءة للجميع ٩٨

مكتبة الأسرة

برعاية السيدة سوزان مبارك

(الأعمال العلمية)

المفهوم الحديث للمكان والزمان

تأليف: ب. س. ديفيز

ترجمة: د. السيد عطا

عن سلسلة الألف كتاب الثانى

الغلاف:

الإشراف الفنى:
للفنان محمود الهندى

المشرف العام

د. سمير سرحان

الجهات المشاركة:

جمعية الرعاية المتكاملة المركزية

وزارة الثقافة

وزارة الإعلام

وزارة التعليم

وزارة التنمية الريفية

المجلس الأعلى للشباب والرياضة

التنفيذ: الهيئة المصرية العامة للكتاب

على سبيل التقديم

تواصل مكتبة الأسرة ٩٨ رسالتها التنويرية وأهدافها النبيلة بربط الأجيال بتراثها الحضارى المتميز منذ فجر التاريخ وإتاحة الفرصة أمام القارئ للتواصل مع الثقافات الأخرى، لأن الكتاب مصدر الثقافة الخالد هو قلعتنا الحصينة وسلاحنا الماضى فى مواكبة عصر المعلومات والمعرفة.

د. سمير سرحان

الباب الأول

الأوجه العديدة للمكان والزمان

١ ـ ١ المفـاهيم العـامة :

تعد كلمتا « المكان » (space) « والزمان » (time) من الكلمات الشائعة التى تحمل من المعانى ما قد يجعلها تلتبس على الأذهان . وتحمل كلمة « المكان » معـانى الحيز والحجم والمساحة والخلاء ، أما فى اللغـة الاصطلاحية الانجليزية فغالبا ما تعنى كلمة « space » الفضاء الخارجى أى المنطقة الواقعة خارج الغلاف الجوى للأرض والتى نحسب انها خواء ، بينما هى فى الواقع ليست فراغا تاما . حيث لا تخلو المسافات السحيقة فيما بين النجوم والكواكب من مقدار دقيق على الأقل من المادة . علاوة على كمية كبيرة من الاشعاعات من هذا النوع أو ذاك . ومع ذلك فان كلمة الفضاء تتصل دائما فى الأذهان « بالفراغ » (emptiness) ، أى ما يتبقى بعد زوال كل شىء ملموس ، وبالتالى يعتبر معظم الناس الفضاء بمثابة الوعاء الضخم الذى يستوعب داخله الكون بما يشمله من مجرات ونجوم وكواكب . وذلك يعنى أن الفضـاء لا يزول بوجود المادة ولكنه « يمتلىء بهـا » .

ويشكل هذا المفهوم للفضاء ـ أى عدم وجود شىء ملموس ـ صعوبة لبعض الناس فى فهم سعى العلماء الى وضع النظريات بشأنه ، فما دام الفضاء هو العدم ، أى شىء يمكن أن يقال عنه !

أما بالنسبة للعلماء فمفهوم الفضاء مختلف . ولدرء احتمال الوقوع فى اعتقاد خاطىء ، نبادر بالقول بأن النظريات العلمية المتعلقة بالفضاء لا تختص بالفضاء السحيق ، وان كانت خصائص الفضاء الخارجى فى معظم الأماكن تماثل الى درجة كبيرة خصائص الفضاء المحيط بسطح الأرض . ولا شك ان « نيوتن » (Newton) و « لايبنتز » (Leibniz) لم يكونا على دراية بعلم الفلك الحديث عندما بدءا يتفكران فى طبيعة الفضاء .

ويرى علماء العصر الحديث أن الفضاء يتسم ببنية ذات مستويات متعددة · وتعتبر المادة ، وفقا لبعض أفرع الفيزياء الحديثة ، مجرد خلل طفيف فى هذه البنية الأساسية · وعلى عكس المفهوم القائل بأن الكون شيء يحتويه الفضاء · يفيد علم الفلك الحديث بأن المادة والفضاء يشكلان معا الكون ، بمعنى آخر يتألف الكون من فضاء ومادة ·

ويقف الفضاء اذن على قدم المساواة مع المادة من حيث الانصاف بكنية ملموسة لها خصائصها وبنيتها · وكان اليونانيون القدماء على علم بالكثير من جوانب هذه البنية ، ويشهد بذلك ما صاغوه من مسلمات ونظريات فى الهندسة المستوية · ثم اكتشف العالم الانجليزى « اسحق نيوتن » (Isaac Newton) (١٦٤٢ ـ ١٧٢٧) ، بعد دهر طويل ، المزيد من هذه الخصائص من خلال دراسة « الحركة » أو ما يعرف « بديناميكا » الأجسام المتحركة بالنسبة للمكان · وقد اعتبر « نيوتن » المكان بمثابة عنصر يمكن أن يؤثر « ديناميكيا » على الأجسام الحقيقية ·

وعلى عكس مفهوم الفضاء ككيان ملموس قائم بذاته ومستقل عن المادة ، ثمة عادة قديمة تبعث بعض العلماء والفلاسفة على تحجيم خصائص الفضاء وقصرها على مجرد علاقات بين الأجسام الحقيقية · ويستند المبدأ الذى تقوم عليه هذه المدرسة الى أن التوصل الى أية معلومات بشأن الفضاء يتم عن طريق قياسات ومشاهدات وعمليات رصد تستخدم فيها أجهزة ملموسة واشارات ضوئية وما الى ذلك · ولا يعدو المكان فى نظر معتنقى هذا الفكر عن كونه مجرد وسيلة لغوية تستعمل للتعبير عن هذه العلاقات، وهم يرون أن العلاقات المكانية بين الأجسام لا تحتاج وجود شيء ملموس قائم بذاته اسمه « المكان » ، الا بقدر ما تحتاج العلاقة بين مواطنى بلد ما شيئا ملموسا اسمه « المواطنة » · وسوف نناقش فى فصول قادمة كيف سارت الأمور فى هذه المدرسة فى ظل ما شهدته القرون الثلاثة الأخيرة من تطور فى علم « الفيزياء » ·

واذا كان العديد من الخصائص المنسوبة للمكان (أو للعلاقة بين الأجسام) معروفا لمعظم الناس ويعتبر فى المعتاد من المسلمات ، فهناك خصائص دقيقة لا يعرفها سوى علماء الفيزياء والرياضيات · ويحاول العلماء وضع نماذج رياضية لوصف بنية المكان كعنصر مادى ، غير ان مجرد مقارنة الخصائص الفعلية للمكان مع تلك النماذج ـ لا سيما لو خلت من بعض المعطيات المتعلقة بجانب من الخصائص ـ يكشف مدى تعقيد هذه البنية واتساع نطاقها · وسوف نكرس القسم القادم لعرض التوصيف الرياضى

الحديث للمكان · ولعل ما سنشهده من كم المفاهيم الرياضية المستخدمة لوصفه بشكل ملائم ينم عن مدى تعقيد بنية المكان كعنصر حقيقى ملموس · ولكن قبل مناقشة هذه النمــاذج الرياضية لابد من الاشــارة الى بعض الاعتبارات المتعلقة باستخدام كلمة « الزمان » ·

تختلف تجربة الانسان بشأن الزمان عنها بالنسبة للمكان · فالزمان يعد بشكل ما واحدا من أبسط مظاهر حياة البشر ، انه ينساب تلقائيا الى عمق وعينا فيحدد مداركنا ومواقفنا ولغتنا · ويتسم الزمان بأن بنيته تحتل أبسط المراتب الأساسية ، على عكس المكان الذى ترتهن بنيته بالمشاهدة والقياس والتجرد بعيدا عن المألوف · ولذلك ، فنحن نحصل على المعلومة المتعلقة بالمكان اما فى المعمل أو بالحواس الخارجيــة بينما تلج المعلومة المتعلقة بالزمان عبر « باب خلفى » اضافى الى الأذهان مباشرة · ويمكن وصف بنية الزمان خلال هذا الباب الخلفى بأنها انسياب أو تدفق متواصل بين المـاضى والمستقبل يحمل معه ضمائرنا وتجاربنا من اللحظة الحالية الى اللحظة التالية · واذا كان المكان يرتبط فى ذهن البشر بالفراغ ، فان الزمان يجسد الحركة والنشاط الدائبين ·

ومرة أخرى تختلف الصورة العلمية للزمان اختلافا جذريا عن صورة المكان · ونظرا للتباين التام بينهما كمجالين للممارسة البشرية ، فان الربط بأى شكل جوهرى بين الزمان والمكان قد لا يبدو أمرا بدهيا · غير أن علماء الرياضيات لهم رأى مختلف ، حيث ان وصفهم للزمان يكاد يتماثل مع وصفهم للمكان ، فضلا عن أن الحركة تعد حلقة وصل بين الزمان والمكان ، بل ان دراسة حركة الأجسام والاشارات الضوئية تكشف عن ان المكان والزمان ما هما فى الواقع الا مظهرين لبنية وحدة تسمى المكان ـ الزمان ·

ومما يبعث على الدهشة فى علم الفيزياء ، بل ويشكل لغزا محيرا ، أن وصف الفيزيائيين للعالم المادى الملموس يخلو من هذا التوصيف البسيط للزمان المتمثل فى انسياب أو انتقال اللحظة الحالية · ولا أحد يعرف على وجه اليقين ما اذا كان ذلك مبعثه خلل فى منهج الفيزياء ، الذى يكرس أهمية كبرى لدور الفكر المنطقى فى الكون ، أم انه يعزى الى ان مرور الوقت يعد نوعا من الوهم · وأيا كان الأمر فان هذا الاحساس العميق بالزمان يضفى على « أعمال العنف » التى يتعرض لها تصورنا الفطرى للزمان من جراء النظريات الحديثة ، من قبيل نظرية النسبية ، قدرا أكبر من الخلل قياسا « بالضربات » المماثلة التى يتعرض لها المكان · ونتيجة لذلك تجتاح العقل ، وما يدور فيه من فكر متعلق بالزمان ، موجات من الجدل الفلسفى

العميق تصل الى حد الشطط جارفة في طريقها بعض القضايا الفكرية مثل حرية الارادة والموت · ويسفر ما يدور في عقولنا من تناطح بين العالم العلماني والعالم الميتافيزيقي عن نشوب نوع غريب من الصراعات العويصة ·

١ ـ ٢ النماذج الرياضية للمكان :

تقتضي أية نظرية علمية وضع نموذج (model) للظاهرة التي تتحدث عنها · ولكي يكون هذا النموذج مفيدا ، ينبغي أن يتسم بتوصيف رياضي · وفيما يتعلق بالمكان فان بناء أي نموذج له درجة معقولة من التماثل مع الواقع ، يستوجب الأخذ في الحسبان بعدد كبير من المفاهيم الرياضية · ونبادر بطمأنة القارىء الى اننا لن نتطرق في هذا الكتاب الا الى لمحة بسيطة عن هذه المفاهيم بما يعيننا على فهم النماذج · ولعل تأمل هذه المفاهيم ينم عن مدى ما يتسم به « المكان » في واقعه من طبيعة مميزة ·

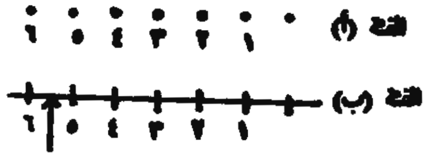
وتستخدم كلمة « مكان » في علم الرياضيات للتعبير عن أي تجمع من النقط · وتمثل النقطة ، وفقا للنموذج الرياضي « للمكان » ، جسما ابتدائيا ، ويمكن تعريفها بأنها المنتهى الذي تؤول اليه دائرة صغيرة ، عندما تقترب قيمة نصف قطرها من الصفر ، ليس للنقط اذن مقاس ولا امتداد ولا عمق داخلي · وتقوم أية بنية للمكان على تجمع من النقط وليس على نقط منفردة ·

ولا شك أن أي نموذج رياضي للمكان يحتمل أن تكون له أغراض متعددة ، فقد يستخدم في وصف أو حل أنواع عديدة من المسائل الخاصة بفروع أخرى من علم الرياضيات أو قد يكون مجرد وصف ذاتي· وثمة أنواع كثيرة من النماذج الرياضية المستخدمة في الحياة اليومية للتعبير عن مختلف صور « المكان » ، نذكر منها الرسم على سبيل المثال · فالورقة التي يرسم عليها المرء هي فئة من النقط ، والرسم نفسه هو فئة جزئية تصور نوعا ما من العلاقة ، شأنها في ذلك شأن تغير ميزان المدفوعات القومي مع الوقت · وقد يعبر أيضا النموذج الرياضي للمكان عن مكان حقيقي ملموس يتجاوز مجرد مجموعة من النقط · والواقع اننا نحتاج علة مستويات متزايدة التعقيد لوصف التركيبات المختلفة لتجمع النقط حتى تتضح المعالم والخصائص المألوفة للشكل الحقيقي للمكان ، بل قد يستوجب الأمر درجة أكبر من ذلك في تعقيد البنية : حتى يتسنى لنا وضع وصف ملائم لبعض الخصائص الغريبة التي كشفت عنها الفيزياء الحديثة ·

وسوف نتناول بايجاز في هذا القسم ، مختلف مستويات التصعيد الوصفي التي ينبغي أن تتخذها تجمعات النقط في سبيل الوصول الى نموذج مقبول للمكان الحقيقي·وان مجرد تحديد المعالم التي ستمثل المكان الحقيقي في النموذج الرياضي ، هي مسألة مرهونة بالنظرية المطروحة بشأن هذا المكان · وفي جميع الأحوال هناك بعض المعالم أو الخصائص الأساسية المشتركة في معظم النظريات وهي :

أ) التواصـــل (continuity)

من خصائص المكان أنه يمكن تجزئته بشكل متوال الى أقسام أقل فاقل بلا حدود ، غير أن تلك مسألة نظرية بحتة لانه لم يتم التوصل حتى الآن الى ما يمكن أن يحدث داخل مسافات تقل عن ١٠ ^-١٣^ سم · ومع ذلك فغالبا ما يؤخذ بالافتراض القائل بقابلية الانقسام بدون حدود · وهذا يعني انه يمكن اعتبار المكان تجمعا لانهائيا من النقط المتراصة بدرجة من القرب بحيث تضفي عليه صفة التواصل · وينبغي أن نشير في هذا المقام الى أن هذا الوصف انما هو مستخدم لتقريب المسالة الى الفهم لأن سمة التواصل (continuity) تعد مفهوما على درجة كبيرة من التعقيد حتى ان علماء الرياضيات لم يفهموه بشكل صحيح الا في القرن الماضي فقط أو نحو ذلك· ومع هذا ، فمن البدهي ــ أن الخط المتصل يحتوي على عدد أكبر من النقط مقارنة بصف مكون من عدد لا حصر له من النقط (انظر الشكل ١ ــ ١) حتى مع اعتبار أن عدد النقط في الحالتين غير محدود · ولالقاء مزيد من الضوء على هذا التباين ، يمكن القول بأن ــ النقط المنفردة المتراصة في صف يمكن ترقيمها بأرقام صحيحة ١ ، ٢ ، ٣ ··· ، ولا ينطبق ذلك على الخط المتصل حيث ينبغي أن توضع الكسور فيما بين الأرقام الصحيحة (مثل النقطة ٥٣٢١٦ر٥) حتى يكون الترقيم كاملا :



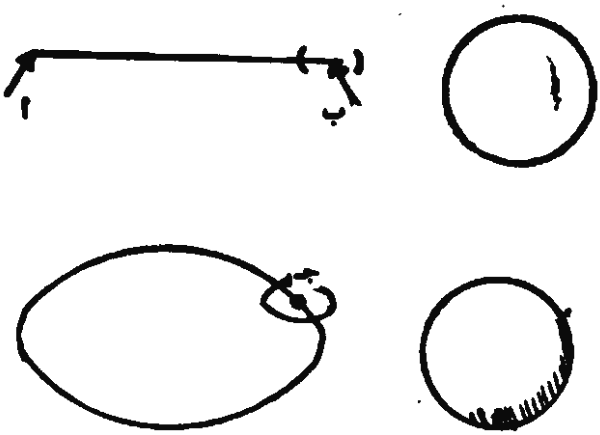
الشكل (١ ـ ١) مفهوم خاصية التواصل : اذا امتدت الفئة (١) بدون توقف يمينا (او يسارا) فسوف تتضمن عددا غير محدود من النقط المنفردة التى يمكن ترقيمها بارقام صحيحة ١ ، ٢ ، ٣ ... أما الفئة (ب) المتمثلة فى خط ، فهى ايضا تحتوى على عدد لا نهائى من النقط حتى لو كان طول الخط محدودا ، ولكن النقط فى هذه الحالة تكون « متلاصقة » بحيث يخال انه ليست هناك « فراغات » فيما بينها : ويقال هنا ان الخط « متصل » . والواقع انه ليس هناك عدد كاف من الارقام الصحيحة يتيح ترقيم كل النقط التى يحتويها الخط . الفئة (ب) اذن تتضمن عددا اكبر من النقط مقارنة بالفئة (١) .

ويتسم المكان المتصل ، أو ما يسمى بايجاز « المتصل » ، بأن كل نقطة فيه لها جوار ، ومهما كان هذا الجوار صغيرا فهو ما زال يحتوى على عدد لانهائى من النقط الأخرى . علاوة على ذلك ، فمن شأن أية نقطتين متباينتين أن يكون لكل منهما جوار غير متداخل مع جوار النقطة الأخرى .

(ب) التعدد البعدى (dimensionality)

ومن الخصائص المعروفة للمكان الحقيقى الواقعى ، والتى يتصف بها « المتصل » ، ما يقال من أنه ثلاثى الأبعاد **(Three dimensional)**. ولعل أبسط طريقة لفهم هذا المصطلح هى أن نبدأ بالنقطة ، وهى التى تعرف بأنها بنية هندسية عديمة الأبعاد . ومن هذا المنطلق يمكن استخدام النقط لتشكل « حدود » المكان « أحادى البعد » .

ولنضرب مثلا لذلك بخط مستقيم محدود الطول ، ان هذا الخط محدود من طرفيه بنقطتين هما نقطة البداية ونقطة النهاية . والخط بالتالى (وهو أحادى البعد) يمكن أن يستخدم ليشكل حدود المكان ذى البعدين ، فالدائرة أحادية البعد تحد القرص ، وهو ذو بعدين ، من طرفيه ، ثم يمكن بعد ذلك استخدام سطح ثنائى الأبعاد كحد لحجم ثلاثى الأبعاد وهلم جرا . تستند اذن مقولة « المكان ثلاثى الأبعاد » الى ترتيب التدرج وفقا لهـذا



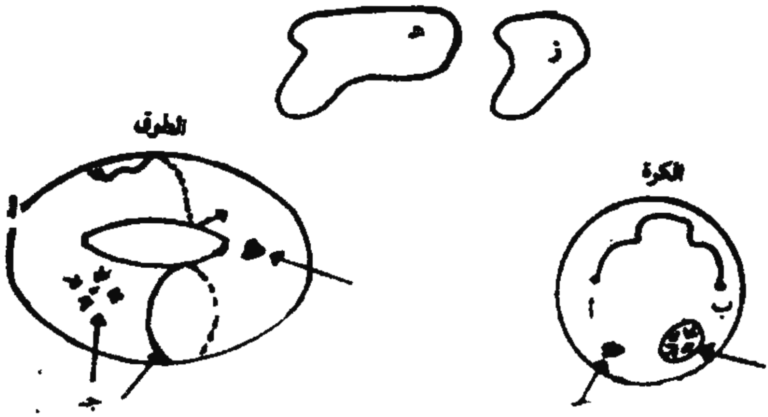
الشكل ١ ـ ٢ : الحدود والتعدد البعدى · يعد الخط المستقيم مكانا أو محلا هندسيا أحادى البعد تحده النقطتان ا و ب ، وأى جوار لهاتين النقطتين (العلامة ( )) ، مهما كان صغيرا ، فانه يحتوى على عدد لا نهائى من النقط · منها ما ينتمى للمحل ومنها ما لا ينتمى له · أما الدائرة فهى تعد محلا أحادى البعد ولكن بلا أطراف ، وبالتالى لا تتميز اى من نقاطها بخاصية الجوار مثل الخط ·

ومثلما ان النقطتين (ا) (ب) ذواتى البعد صفر تشكلان حدود الخط المستقيم فان الدائرة احادية البعد تشكل حدود القرص ثنائى الأبعاد ويوضح الرسم النقطة الحدوية (جـ) وجوارها · وفى المقابل فان سطح الكرة ليست له نقط حدودية ؛ الكرة اذن تعد محلا ثنائى الأبعاد بدون حدود · ويمكن لهذا المنطق ان يتوالى لأى عدد من الأبعاد ·

التسلسل · والواقع أن علم الرياضيات لايعرف حدا لعدد الأبعاد التى يمكن أن يتصف بها المكان · ويؤكد ذلك أن واحدا من أفرع الرياضيات المهمة ، والمستعمل فى تطبيقات فيزيائية ، يستخدم نماذج أماكن ذات عدد لانهائى من الأبعاد ! ولا أحد يعرف لماذا يعد المكان الحقيقى ثلاثى الأبعاد · وقد يكون من المفيد دراسة خصائص عوالم يكون فيهـا المكان ثنائى أو سداسى الأبعاد على سبيل المثال ! وقد تبدو بعض الظواهر أحيانا ـ مثل انتشار الموجات أو الظـواهر الكهربية ـ مختلفة اختـلافا كبيرا فى هذه العوالم الوهميـــة ·

(ج) الاتصـــال (connectivity)

وليس هناك سبب يفسر لماذا لا يتكون الفضاء الحقيقي من عدد من الأجزاء المنفصلة · وعلى أية حال فنحن لا نعرف منطقة في الفضاء منقطعة عن عالمنا ولذلك لن نتوقف عند هذا السؤال · ومع ذلك فحتى المكان الواحد يمكن أن يكون متصلا بعدة طرق مختلفة ، فكل من سطح الطوق على سبيل المثال وسطح الكرة (الشكل ١ ـ ٣) يعد مكانا متصلا ، بمعنى انه يمكن ربط أية نقطتين فيه ببعضهما بواسطة منحنى متصـــل يقع كله في هذا المكان ، ورغم ذلك تختلف طريقة الاتصال في الحالتين · ومن بين طرق التدليل على ذلك أن منحنى بسيط مغلق (دائرة على سبيل المثال) على



الشكل ١ ـ ٣ : الاماكن ثنائية الأبعاد المتصلة والمنقطعة · يوضح الشكل الأعلى أن النقطتين (هـ) و (ز) لا يمكن الربط بينهما بخط متصل يقع كله داخل مكان واحد ، وهذا هو المكان المنقطع · وعلى النقيض من ذلك فان كل الأجزاء الموجودة على سطح الكرة أو الطوق تعد متصلة ولكن ثمة اختلافا فيما بين الحالتين ؛ فمن شأن أية دائرة على سطح الكرة (مثل الدائرة (جـ)) انها يمكن ان تنكمش حتى تصبح نقطة ، اما في حالة الطوق فينسحب ذلك على الدائرة (جـ) ولكن لا ينطبق على الدائرة (د) ، ولذلك يقال ان الكرة بسيطة الاتصال والطوق متعدد الاتصال·

ويمكن للمنبطح على سطح هذه الاماكن المتصلة ان يستنتج بسهولة اوجه الاختلاف بينها ، وما اذا كان الاتصـــال فيها بسيطا ام متعددا ، محدودا أم غير محدود ، وذلك دون ان يحتاج أن يغادر السطح ليرى بشكل مجسم ثلاثي الأبعاد كيف ان الكرة أو الطوق كائن في حيز ثلاثي الأبعاد ·

نفس هذه الملاحظات تنطبق على الكون ثلاثي الأبعاد الذي نعيش فيه ·

سطح الكرة يمكن أن ينقلص حتى يصل الى نقطة ، غير أن ذلك لا ينسحب بالضرورة على حالة الطوق • ولا ندرى ما اذا كان الكون الذى نعيش فيه هو على هيئة سطح كرة أم طوق أم نظام آخر أكثر تعقيدا • وعلى أية حال فان الكون ، في المنطقة التى نراها ، يبدو متصلا مثل سطح الكرة •

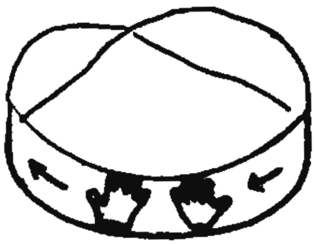
وقد يقع القارىء عند هذه المرحله في حيرة ، اذ كيف نناقش بالمنطق مكانا حقيقيا مفترضين أنه على هيئة طوق أو على هيئة أجزاء منفصله ، ولو كان الأمر كذلك فماذا يوجد « خارج » هذا المكان ؟ ما الذى يملأ الثقب الذى يتوسط الطوق ••• الخ ؟ واذا جاز أن نناقش نماذج رياضية للمكان ، مبنية على أساس أن الأسطح ثنائية الأبعاد موجودة على هيئة طوق ، ولما كان ذلك لا يتأتى الا اذا كان الطوق موجودا فى غلاف ثلاثى الأبعاد ، فما هو المكان « الخارق » (من حيث التعدد البعدى) ، الذى يمكن أن يغلف المكان الحقيقي ؟ لا شك أن مثل هذه المسائل تشكل دائما قدرا من المصاعب الفكرية بالنسبة لغير المتعمقين فى علم الرياضيات •

ويعرف المكان بما يسم به من خصائص•وقد تكون هذه الخصائص، أو بعضها ، على درجة كافية من الدقة تغنى عن الحاجة الى الاستعانة بغلاف مكانى يحيط بالمكان المعنى • فلو ان شخصا على سبيل المثال منبطح على سطح ما (والسطح ثنائى الأبعاد) ، فبوسعه أن يستنتج بمجرد المشاهدة من على هذا السطح ، ما اذا كان منبطحا على سطح طوق أو كرة ، وذلك بأن يختبر فى ذهنه على سبيل المثال هل كل الدوائر التى يمكن رسمها على هذا السطح ستؤول الى نقطة اذا انكمشت ، أم لا • وليست هناك صعوبة على الصعيد الرياضى في مد المناقشة الخاصة بسطح حلقى ثنائى الأبعاد الى حجم حلقى ثلاثى الأبعاد دون اعتبار « للغلاف المكانى » الذى يحتويه • ومع ذلك ، فمن المفيد في بعض الأحيان تصور مكان مغلف ذى عدد أكبر من الأبعاد عن المكان المعنى ، حيث يساعد ذلك على الاستدلال ، غير أنه لا ينبغى لأحد أن يتوقع أية مناقشة بشأن طبيعة هذا الغلاف ، فما هو الا غلاف وهمى •

(د) الاتجـــاه (orientability)

وكثيرا ما سنلجأ ، لسهولة العرض ، الى مناقشـــة خصائص المكان الحقيقى ثلاثى الأبعاد بتمثيله بنماذج ثنائية الأبعاد مطمورة فى مجال مكانى ثلاثى الأبعاد ، فمن شأن مثل هذ التمثيل أن ييسر مناقشة خاصية أخرى مهمة عادة ما يفترض أنها صحيحة بالنسبة للمكان الحقيقى ، وهى خاصية

الاتجاه · فمن المعروف أن قفاز اليد اليسرى لا يمكن أن يتحول الى قفاز يد يمنى مهما لويناه أو قلبناه (الا اذا قلب من الداخل للخارج) · علاوة على ذلك فسوف نفترض بصفة عامة أن اتجاه اليد فى القفاز لن يتغير حتى لو نقل القفاز الى منطقة بعيدة فى الكون ثم أعيد ، أى أن قفاز اليد اليسرى لن يعود قفاز يد يمنى · غير أن علماء الرياضيات كثيرا ما يصادفون أنماطا لأماكن يحدث فيها مثل هذا التغيير فى الاتجاه · ونسوق مثالا لذلك شريحة موبيوس (المســـماة بهذا الاســم تكريما لعالم الفلك والرياضيات الألمانى أوجوست · ف · موبيوس (August F. Mobius) ، (١٧٩٠ ـ ١٨٦٨) وهى تعد مكانا ثنائى الأبعاد ويمكن تقريبها الى الأذهان برسمها مطمورة فى مكان ثلاثى الأبعاد على نحو ما هو مبين فى الشكل (١ ـ ٤) · انها عبارة عن شريحة بها لية واحدة بحيث يتحول فيها قفاز اليد اليسرى الى قفاز يد يمنى لو نقل عبر منحنى مغلق يدور حول الشريحة (تجدر الاشارة الى أن هذا القفاز يعد بالطبع ثنائى الأبعاد ، أى لا تمييز فيه بين « وجه » و « ظهر ») · ويمكن وضع نماذج رياضية خالية من هذا القيد ، للأماكن ثلاثية الأبعاد المناظرة لشريحة موبيوس · وتعد شريحة موبيوس اذن مكانا عديم الاتجاه · وليس هناك أى دليل على أن الكون الذى نعيش فيه يتسم بهذه الصفة ·



الشكل ١ ـ ٤ : المكان عديم الاتجاه · تتسم شريحة موبيوس بخاصية غريبة تتمثل فى ان قفاز اليد اليسرى يتحول الى قفاز يد يمنى اذا دار دورة كاملة حول الشريحة (لا فرق هنا بين وجهى القفاز) ·

وتعد الخصـــائص سالفة الذكر خصـــائص طبوغرافية ، أى تنتمى دراستها لعلم الطبوغرافيا (topology) ، وهى ترتهن بخاصية تواصل المكان فقط ولا عـــلاقة لها بأية خصائص أخرى مثـــل الحجم أو الشكل التفصيلى الدقيق · وحتى عند هذه المرحلة يتبين أن المكان الحقيقى له عدد كبير من البنيات التى تتجـــاوز مجـــرد وصفه بأنه « فئـــة من النقط »

(set of points) ، وانها بيئات ترتهن بخصائص التواصل والتعدد البعدى والاتصال والاتجاه . بخلاف عدد آخر من الخصائص الرياضية التى تتجاوز مجال هذا الكتاب ٠

وحتى مع هذه القيود ، من الوارد بناء نماذج رياضية للمكان تختلف كثيرا في خصائصها عن المكان الحقيقي ٠ وثمة مزيد من القيود المهمة التى يتبغى فرضها من أجل التوصل الى نماذج معقولة للكون الحقيقي ٠ وتعد طريقة تحديد موقع النقط ـ سواء بعلامات متصلة أو بالاحداثيات ـ واحده من أبرز الخصائص العملية البسيطة للكون ٠ ولنضرب مثلا شائعا لذلك وهو طريقة تعيين موقع مدينة عن طريق تحديد خطى الطول والعرض لها ، وهما رقمان يحددان النقط بشكل متصل على السطح الأرضى ثنائى الأبعاد ٠ ويمكن وضع نظام من ثلاثة أرقام تحدد على سبيل المثال الطول والعرض والارتفاع ، لتعيين موقع الأجسام فى الفضاء ٠ وترتهن قيمة هذه الأرقام الثلاثة بنوع النظام الاحداثى المستخدم ٠ فلو نقل على سبيل المثال موقع البداية بالنسبة لخطوط الطول من جرينيتش الى باريس ، فسوف يتغير واحد من الرقمين اللذين يحددان مواقع المدن فى العالم ٠ وقد نختار طريقة أخرى لتحديد المواقع على سطح الأرض وذلك بأن نحدد اتجاهاتها ومسافاتها من مدينة معينة ، ولتكن مكة مثلا ٠ وقد يقتضى الأمر الاستعانة بأكثر من نظام احداثى واحد لتغطية المكان كله بشكل دقيق ٠ فلا يصلح على سبيل المثال نظام خطوط الطول والعرض لتحديد المواقع القريبة من القطبين ٠ ولابد فى حالة الحاجة الى أكثر من نظام احداثى واحد ، من بناء علاقة دقيقة بين النظم الاحداثية المستخدمة ٠ ويسمى المكان المتسم باحداثيات متصلة متناغمة « جامع » (manifold) ٠

ويتسم المكان الحقيقى ، علاوة على كونه جامعا ، بأن له بنية هندسية (geometrical structure) ، وتشتمل هذه البنية على عدد من المعالم تذكر منها اقصر طريق بين نقطتين والزوايا والمسافات ٠ وتسمى الأماكن التى تتسم بهذه المعالم « الأماكن المترية » ، وهى تنقسم الى أنواع عديدة ٠ وكان الناس (باستثناء قلة من علماء الرياضيات) يفترضون أن الكون الحقيقى هو مكان مترى لا يخضع الا لقواعد الهندسة المستوية الاقليدية التى وضع مبادئها العالم اليونانى القديم اقليدس (Euclid) ٠ ويقول النظام الاقليدى بأن مجموع زوايا المثلث تساوى ١٨٠° ، وانه بالامكان دائما رسم خطوط متوازية ٠ وتلك هى الهندسة المستوية التقليدية التى تدرس فى المدارس ، غير أننا سنرى أن النظريات الحديثة بشأن المكان تنطوى على وجه التحديد، على خاصية امكان تغير البنية المترية من موقع لآخر ومن زمان لآخر ، وذلك يعنى أن مبادىء الهندسة الاقليدية لم تعد تصلح للتطبيق فى هذا المجال ٠

وقبل أن ننهي منافسة الخصائص الرياضية للمكان الحقيقي لابد من ذكر كلمة بشأن الزمان والمكان / الزمان · ولا شك أن الزمان يشارك المكان في العديد من خصائصه . فالخصائص الطبوغرافية ، مثل التواصل والاتجاه والاتصال ، واحدة على الأرجح ، وان كان الزمان يعد ذا بعد واحد وليس ثلاثة أبعاد كشأن المكان · وهو يتسم كذلك ببنية مترية اذ يمكن تعريف المسافة بين نقطتين من حيث الوقت بأنها المدة بين حدثين (من الساعة الواحدة الى الساعة الثانية مثلا) · وتبعث هذه الأسباب على اعتبار الزمان مكانا متريا رياضيا أحادى البعد · ولا ينبغي أن يؤدى ذلك الى ارباك القارىء أو الى دفعه الى الاعتقاد بأن الزمان هو مكان حقيقي في صورة مقنعة مستترة أو أى شيء من هذا القبيل · علاوة على ذلك فلقد ثبت أن توحيد الأبعاد الثلاثة للمكان والبعد الواحد للزمان في اطار « مكان ــ زمان » رباعى الأبعاد ، يتسم أيضا بصفة المترية ، ويعطى نتائج أدق ، وبالتالى سوف نستخدم دائما كلمة « المكان » في السياق الرياضى ، لتغطية جوانب كل من المكان الحقيقى والزمان أو الزمكان ·

١ ــ ٣ المكان والزمان في المفهوم النيوتونى

ولقد اكتشف العلماء اليونانيون القدماء الخصائص المترية للمكان بالقرب من سطح الأرض ودرسوها بقدر كبير من التفاصيل · وجاءت الهندسة المستوية الاقليدية بتعريفاتها ونظرياتها معبرة وشاملة لهذه الخصائص « الاستاتيكية » · غير أن الخصائص « الديناميكية » للعالم لم تتناولها نظرية رياضية ثابتة ، الى أن جاء « اسحق نيوتن » في القرن السابع عشر ، فكان له السبق في وضع « نظرية حركة » الأجسام المادية · ولأن مسار الجسم المتحرك هو مكان يقطع في زمان ، كان لزاما أن تربط هذه النظرية بين المكان والزمان في سلسلة من القوانين · وهكذا اكتشف « نيوتن » العلاقات الرياضية البسيطة التى تحكم حركة الأجسام الصلبة النموذجية · ولقد نحت هذا العمل الرائع بنية علم الطبيعة الذى استمر قرونا بعد ذلك ·

وقد اقترح « نيوتن » نموذجا للمكان باعتباره مادة مستقلة تتحرك خلالها الأجسام المادية والاشعاعات تماما مثلما تسبح الأسماك في الماء ·

وذلك يعنى أن كل جسم ينفرد بمحل واتجاه فى المكان الذى يحتويه ، وأن المســـافة بين حدثين معروفة تماما حتى لو وقع الحدثان فى توقيتين مختلفين ٠

ويستند مفهوم «نيوتن» للزمان بشدة على فكرة التزامن (simulteneity) ويتسم الزمان فى هذا النموذج بأنه عام ومطلق ٠ وتضفى صفة العمومية على الأحداث المتزامنة (أى التى تقع فى توقيت واحد) معنى امكان وقوع هذه الأحداث فى مواقع متفرقة من المكان ، أى أن الساعة الثانية عشرة فى لندن على سبيل المثال تعد الثانية عشرة فى جميع أنحاء العالم (حتى لو اطلق عليها السابعة فى نيويورك ، فذلك من قبيل الاصطلاح المتفق عليه ، المهم انها تعنى اللحظة نفسها وفقا لنظرية نيوتن) ٠ وتقتضى تلك النظرية أيضا أن يظل المكان والزمان مطلقين ، أى يتســمان بالاستقرار والثبات بغض النظر عن مسلك المحتويات (الأجسام المادية) ٠ ويعتبر « نيوتن » كذلك ، على نحو ما سنرى لاحقا ، ان المكان يمكن أن يؤثر على المادة فى ظل بعض الظروف بينما لا تؤثر المادة عكسيا على المكان ٠

ولما كانت نظرية « نيوتن » تعتبر ان المكان هو مادة مستقلة فانها تصطدم مع المدرسة العلاقاتية التى ترى ان المناقشة المكانية والزمانية ما هى الا تعبير لغوى ملائم لوصف العلاقات بين الأجسام المادية ٠ ومن هذا المنطلق فان اعتبار المكان كيانا ماديا يعد ضربا من العته ، تماما مثلما نصف « جو الكآبة » الذى يلى المعارك بأنه عنصر مادى ملموس ٠ فالقول بأن الناس مكتئبون نتيجة جو التوتر السائد بعد المعركة ان هو الا تعبير لغوى يقصد به انهم مكتئبون نتيجة الحالة المعنوية التى يعيشها المقاتلون بعد المعركة ٠ وما من أحد يقول ان هذا « الجو » الثقيل موجود بشكل مستقل عن المقاتلين بحيث يمكن قياسه بأى نوع من الأجهزة ! وبالتالى لا يمكن اعتبار المكان مادة ملموسة الا اذا أمكن رصده أو اذا كانت له تأثيرات مادية ملموسة ٠ كيف يمكن على سبيل المثال تحديد موقع جسم ما فى المكان ، بينما المكان ، حسب تعريف هذه المدرسة له ، هو شىء عديم السمات والمعالم ؟ وفى المقابل فانه بوسعنا تحديد موقع جسم ما « بالنسبة » لفئة من الأجسام الأخرى ، فيمكن مثلا استخدام خطوط الطول والعرض لتحديد بعد موقع ما من خط جرينيتش وخط الاســتواء على التوالى ٠ عــلاوة على ذلك فما من سبيل للاستدلال على الخصائص الهندسية للمكان الا عن طريق الرصد باستخدام أدوات مادية واشارات ضوئية ، فمن اليسير مثلا التحقق بدرجة عالية من التقريب من أن مجموع زوايا المثلث يساوى ١٨٠° لو استخدمنا جهاز مزواة وعمودا مدرجا ، فهل كان سيتسنى لنا استنتاج هذه الخاصية لو

كنا في مكان خلاء ؟ ورغم أن المحيط متماثل في شتى بقاعه ، ليس ثمة لبس في وجـوده ككيان مادى مستقل حيث يمكننـا الابحـار « عبره » والشعور بمقاومته • فهل يسفر تحرك الأجســام عبر المكان عن تاثيرات ملموسة ؟ وهل يؤثر المكان على الجسم المتحرك بنفس الطريقة التى يؤثر بها البحر على سمكة متحركة ؟

أما فى النموذج « النيوتونى » للمكان والزمان فان مناقشة « سرعة » جسم يتحرك فى المكان تعد مسالة ذات معنى ، فالسؤال القائل : « باية سرعة تتحرك ؟ » هو سؤال شائع ومفهوم وله رد منطقى • ومن البدهى أن يقول المرء الجالس فى غرفة معيشته انه ساكن لا يتحرك ، ولكنه لو تفكر قليلا فسيتذكر انه فى الواقع يدور مع الأرض حول الشمس ، فما هى سرعة الأرض ؟ ولا يمكن الاجابة على هذا السؤال الا اذا علمنا باية سرعة تتحرك الشمس ، فالشمس تدور فى واقع الأمر حول المجرة • ولا يقف الأمر عند هذا الحد ، حيث ان جميع المجرات المعروفة تبتعد عن بعضها فى اطار عام من التمدد ، الكون اذن يموج بالحركة • ولكن هل ثمة شيء ثابت لا يتحرك فى الكون ؟ وكيف يمكن تحديد مثل هذه الحالة من الثبات ؟

ولقد ساد اعتقاد على مدى قرون بان الأرض ثابتة لا تتحرك فى الكون وأن الشمس والقمر والنجوم تدور حولها بانتظام بالغ الدقة • غير أن نيكولاس كوبرنيكوس (Nicholas Copernicus) (بولندى ١٤٧٣ ، ١٥٤٣) دمر هذه الفكرة المريحة التى تضع الانسان فى مركز الكون ، وأثبت أن الشمس تقع فى مركز المجموعة الشمسية وأن الأرض تدور حولها • ولم يبرأ الانسان منذ ذلك الحين من الصدمة الفكرية التى أصابته من جراء فقدان الأرض لوضعها المتميز •

ويجد الأطفال الصغار صعوبة فى تقبل فكرة تحرك الأرض ، لانه ليس ثمة ما يجعل المرء يشعر بأنها تتحرك • وقد نفهم جانبا مهما من طبيعة الميكانيكا لو حددنا أنواع الحركة التى يشعر بها الانسان • فلو أراد راكب فى طائرة أن يعرف ما اذا كان محلقا فى الجو او مرابطا على الأرض ، ما عليه الا أن ينظر من النافذة ، أما لو كانت الطائرة بلا نوافذ فلن يكون متيقنا من وضعه • غير ان أيا من عمليتى الاقلاع والهبوط أو ما تتعرض له الطائرة من مطبات هوائية كفيل بأن يقنع الراكب بأنه محلق فى الهواء • ومع ذلك ، فحتى هذا الانطباع يمكن أن يزول لو كان تحليق الطائرة يتم فى انسياب • وعلى صعيد آخر ما أسهل أن ينخدع الانسان بالاحساس بالحركة ، فمن منا لم يشعر ذات مرة وهو مسافر بالسكة الحديد أن القطار بدأ يتحرك ثم يفاجأ بعد برهة بأنه لم يبرح مكانه وان قطارا آخر على سكة موازية هو الذى كان يتحرك فى عكس الاتجاه !

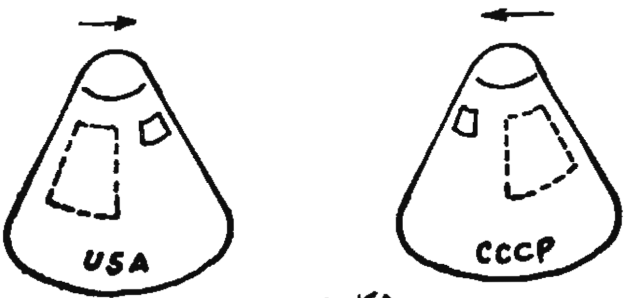
وبتعميم هذه التجارب يتضح أن الاحساس بالحركة لا يحدث الا اذا كانت الحركة غير منتظمة · فالراكب في الطائرة سوف يشعر – حتى لو كان أعمى ، بأية مطبات أو أي تغيير في السرعة أو الارتفاع أو الاتجاه . كذلك فان وصلات عربات القطار كفيلة ، بما تتعرض له من شد وجذب ، باقناع الراكب بما اذا كان قطاره هو الذي يتحرك أم القطار الآخر · ولعلنا نقول بشيء أكبر من الدقة ان المرء لا يشعر في المعتاد بالحركة ذات السرعة المنتظمة (أي التي تجرى بدون تغيير في السرعة أو الاتجاه) ، ولكنه يشعر بالحركة « المتعاجلة » (accelerated) أي ذات السرعة المتزايدة (أو المتناقصة بالطبع) ·

وقد وضع « نيوتن » هذه الاعتبارات في اطار علمي محكم بأن صاغ قانونه المعنى بحيث لا يرتهن بسرعة الأجسام وانما بعجلتها فقط ؛ لقد أراد أن يقول بذلك انه لو تحرك جسمان حركة منتظمة ولكن بسرعتين مختلفتين فليست ثمة تجربة يمكن أن تفيد بما اذا كان أحدهما يتحرك والآخر ثابت (أو العكس) أم أن الاثنين يتحركان ، وكل ما يمكن أن يقال بشكل منطقي عن هذين الجسمين هو أنهما يتحركان بصورة منتظمة بالنسبة لبعضهما ·

ومن الأمور المعتادة ، أن نتخذ من حالة حركة معينة «اطارا مرجعيا» (reference frame) ، وقد نتخيل مراقبا وهميا يتبوأ كل اطار مرجعي · ولا تعترف قوانين « نيوتن » بوجود فئة مميزة من الأطر المرجعية تحظى بصفة « السكون » ، فأي تحرك منتظم يعد في ظل الميكانيكا النيوتونية تحركا نسبيا · ولو قيل على سبيل المثال ان عربة تتحرك بسرعة خمسين كيلومترا في الساعة فانما يعني ذلك خمسين كيلومترا في الساعة بالنسبة لرصيف الشارع ، ولا يحمل هذا القول وفقا لقوانين « نيوتن » سوى هذا المعنى ·

وعلى عكس الحركة المنتظمة التي تكتسي سمة النسبية ، فان الحركة المتعاجلة تعد مطلقة absolute حسب نظرية « نيوتن » ، أي يمكن ايجاد تجارب توفر بقدر كاف من اليقين ردا على السؤال القائل « هل هذا الاطار المرجعي متعاجل لم لا ؟ » · ويمكن تماما اجراء هذه التجارب من داخل النظام المتعاجل ذاته دون الحاجة للرجوع الى العالم الخارجي · ولو استعنا بواحد من الأمثلة المذكورة آنفا فسوف نلاحظ اننا لو وضعنا بيضة على منضدة مستوية في طائرة محلقة بسرعة منتظمة فلن تتعرض البيضة لما ينم عن انتظام حركة الطائرة · أما لو أبطأت الطائرة بشكل فجائي أو أسرعت

فسوف تتدحرج البيضة من على المنضدة وتتكسر ؛ من شأن العجلة اذن أن تكسر البيض ، أما السرعات المنتظمة فلا تكسره !

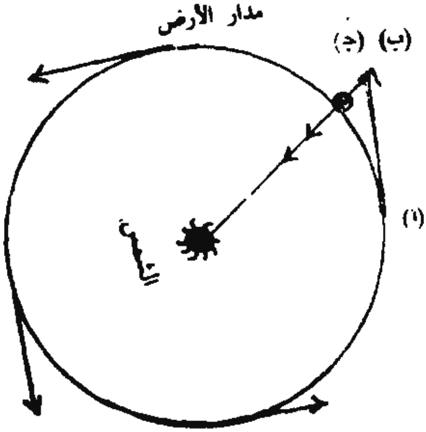


شكل ١ ـ ٥

الشكل ١ ـ ٥ : نسبية الحركة المنتظمة · لو أن كبسولتى فضاء كانتا تقتربان من بعضهما بسرعة عشرة الاف كم فى الساعة فى الفضاء الخارجى ، فان كل مجموعة من رواد الفضاء ستشعر ان كبسولتها ساكنة وان الكبسولة الثانية هى التى تتحرك صوبهم ، فمن من المجموعتين على حق ؟ لا يمكن ايجاد رد على هذا السؤال · وليس هناك أى جهاز ميكانيكى من شانه ، لو وضع فى الكبسولة ، ان يرصد سرعتها المنتظمة ، ولا مجال فى مثل هذه الحالة الا لرصد السرعة النسبية بين الكبسولتين ·

ولما كانت الحركة المنتظمة تعد حالة لا تسترعى الانتباه وفقا للقوانين النيوتونية ، ويمكن اعتبارها حالة « طبيعية » ، لم يسع « نيوتن » الى « شرح » هذا النوع من الحركة ، ولكنه اهتم بدلا من ذلك بالحركة المتعاجلة ورأى ان هذه الحركة تحتاج دائما سببا لها ، ولقد أطلق على هذه الأسباب اسم « القوى » · فالحجر الذى يسقط على الأرض يهوى تحت تأثير قوة الجاذبية التى تعاجله الى أسفل · والأرض تدور حول الشمس وفقا لمبدأ مشابه · وتؤكد قوانين « نيوتن » ان سرعة كوكبنا فى الفضاء لا تحتاج تفسيرا ، فالناظر فى اتجاه سرعة الأرض لا يجد شيئا ملحوظا من شأنه أن يعلل هذه السرعة ، غير أن اتجاه حركة الأرض يتغير باستمرار حيث انها تدور فى مسار منحن حول الشمس ، وهذا الانحناء على وجه التحديد هو الذى يحتاج تفسيرا فى هذه النظرية ، لأن أى جسم يتحرك فى مسار منحن انما يتعاجل باستمرار فى اتجاه متقاطع مع المسار · ومن هذا المنطلق فان أى كوكب يتحرك فى دائرة يتغير اتجاه سرعته بشكل مستديم صـــوب

مركز الدائرة (الشكل ١ ـ ٦) • وما دامت الأرض تتعاجل على الدوام فى اتجاه مركز مدارها (شبه الدائرى) فهذا هو ما يستوجب التفسير • ولو نظرنا الى مركز مدار الأرض فسوف نجد فعلا شيئا يلفت النظر ، وهو الشمس ، وجاذبية هذه الشمس هى التى تدفع الأرض لأن تتحرك حولها فى هذا المســــار المنحنى الى الأبد • ولو زالت الشمس لعادت الأرض الى حركتها المنتظمة ولأقلعت فى مسار مستقيم •



الشكل ١ ـ ٦ : الحركة الدائرية هى بمثابة عجلة ، تدور الأرض حول الشمس بسرعة ثابتة فى مدار شبه دائرى • غير ان اتجاه سرعة الأرض يتغير على الدوام • فعندما تكون الأرض عند النقطة (ا) فهى تتحرك فى الفضاء صوب النقطة (ب) ولكن نظرا لانحناء المســار فانها فى الواقع تميل للداخل نحو النقطة (ج) • ويأتى هذا التغيير فى اتجاه الحركة بطول ب ج صوب الشمس • ويعزى هذا التغير فى السرعة ـ اى العجلة ـ الى قوة جاذبيــة الشمس التى تجذب الأرض فى اتجاه ب ج • وليست ثمة قوة تعمل فى اتجاه السرعة الخطية السارية (الأسهم المنفردة) •

ويقول قانون « نيوتن » الثانى بشأن حركة الأجسام ان عجلة الجسم تتناسب طرديا مع القوة المؤثرة عليه (العلاقة ١ ـ ١) • وتسمى النسبة الثابتة فيما بين القوة والعجلة « كتلة القصــور » للجسم ، أو باختصــار كتلة الجســـم •

القوة = كتلة القصور (interial mass) × العجلة (١ ـ ١)

وعلى ذلك فلو زالت القوة ، فســوف تتوقف العجلة ويستمر الجسم يتحرك بسرعة منتظمة • ولن تتغير المعادلة (١ ـ ١) باضافة سرعة ثابتة

الى الجسم ، لان تغير السرعة فقط ــ أى العجلة ــ هو الذى يحسب فى هذا القانون الثانى • وتعبر المعادلة (١ ــ ١) أيضا عما نلاحظه من أنه كلما زادت كتلة الأجسام صعب تعجيلها بنفس القوة المؤثرة (دفع السيارة أصعب من دفع الدراجة) • ولا شك أنه لا يمكن حل هذه المعادلة الا بعد معرفة طبيعة القوة المؤثرة ، لان هذه القوة قد تكون متغايرة مع المكان أو الزمان •

ولو قرأنا القانون الثانى « لنيوتن » من اليسار الى اليمين فسنجده يقول ان النظــام المتحرك بشــكل منتظم لا يؤثر بأية قوى على مكوناته ومحتوياته ، ولذلك فان مسلك هذه المحتويات (وقد تشمل البشر) لايمكن أن يتغير نتيجة الحركة المنتظمة للنظام ككل • وذلك يعنى أنه ليست هناك وسيلة « ميكانيكية » للتمييز بين حالة حركة منتظمة وأخرى •

وقد يتساءل البعض لماذا لا تتجلى بشكل مباشر هذه المبادىء المتعلقة بالحركة ؟ والرد هو أن هذه المبادىء تبدو للوهلة الأولى متناقضة من خلال الممارسات اليومية على الأرض • ولنشرح ذلك بالمثال التالى : هب أن عربة تسير فى طريق مستو بسرعة ثابتة مقدارها ٥٠كم/ساعة ، هذه العربة لابد لها من محرك • ولكن ألا يتعارض ذلك مع قوانين « نيوتن » التى تؤكد ان مثل هذه الحركة المنتظمة تتم بشكل تلقائى بدون قوة دافعة ، وانه لا حاجة لهذه القوة الا لمعاجلة العربة ؟ والرد على هذا السؤال هو أن العربة تحتاج بالفعل قوة دافعة حتى من أجل الابقاء على سرعتها المنتظمة ، لأنه لابد فى الواقع من التغلب على ما يواجهها دائما من احتكاك ومقاومة هوائية ، ولو لم تكن هناك قوة دافعة فمن شأن هذه القوى المناوئة أن تعمل ، وفقا لنفس هذه القوانين ، على ابطاء العربة الى أن تتوقف (بالنسبة للأرض بالطبع!) • وفى حالة حركة الكواكب حول الشمس فان قوى الاحتكاك تعد ضئيلة للغاية بحيث يمكن اهمالها • ويعزى ذلك الى أن الأرض تتحرك فى فراغ شبه تام ، وليس عبر وسط مادى من شأنه أن يؤثر على حركتها • وينسحب ذلك على كبسولة الفضاء ، فهى تكتسب عجلتها الأصلية بفعل المحركات الصاروخية التى تضعها على مسارها ، ثم تكمل الكبسولة رحلتها فى الفضاء بدون قوة دافعة أخرى لانه ليست هناك قوى احتكاك تعمل على ابطائها • اذن ، المكان فى حد ذاته (الفضاء فى هذه الحالة) لا يؤثر بأى قوى على الأجسام المتحركة •

ولما كانت الآليات الأرضية تتعرض لقوى احتكاك تعمل ، فى حالة عدم وجود قوة دافعة ، على ابطاء حركتها وتبديد طاقتها الحركية ، فقد

أدى ذلك الى تولد اعتقاد خاطىء بوجود حالة طبيعيــة فى الكون تسمى السكون ، وهى الحالة التى تصل اليها « منظومة متحركة » بعد أن تستنفد طاقتها و « تتوقف » · وقد ساعدت روايات الخيال العلمى ، وحتى أكثرها حبكة ، على ترسيخ هــذا الاعتقاد الخاطىء من خــلال الاصرار على تجهيز مركبات الفضاء بالمحركات وصواريخ الدفع التى تعمل باستمرار على ابقاء الحركة المنتظمة للمركبة فى الفضاء · ونذكر مثالا لذلك ما جاء فى احدى الحلقات التليفزيونية الشهيرة من أن « الموت فى الفضاء » كان المصير الذى آلت اليه سفينة فضاء نضب مصدر طاقتها · ولا شك ان مثل هذا النوع من الشطط يلحق ضررا بالغا بعملية نشر الثقافة العامة · ومن غير المعقول حقا أن يظل بعض كتاب الخيال العلمى حتى الآن بعيدين عن تلك المبادىء التى أرساها « نيوتن » منذ نحو ٣٠٠ سنة بينما نسخت هذه المبادىء منذ ثلاثة أرباع قرن بنظرية النسبية التى وضعها « اينشتين » ·

والسؤال المطروح الآن هو كيف تحقق قوانين « نيوتن » بشــأن الحركة ، بما سجلته من نجاح باهر فى وصف مسارات الكواكب حــول الشمس ، النموذج الذى وضعه هذا العالم للمكان والزمان ، لاسيما وان الخصائص الميكانيكية للأجسام لا تشكل وسيلة لتحديد موقعها وسرعتها فى المكان ؟ ولا شك أن هذا السؤال يعد حجة قوية تعزز النظرية العلاقاتية التى لا تعترف بالمكان كاطار مرجعى ترجع الحركة اليه · ومع ذلك فما زالت الميكانيكا النيوتونية توفر اطارا يبيح قياس نوع من الحركة عبر المكان وهو الحركة المتعاجلة · وتقودنا «العجلة» الى نوع من القوى المعروفة والتى يطلق عليها فى بعض الأحيان قوى القصـــور الذاتى ، ونضرب لها مثلا بما يشعر به المرء من ضغط لأسفل عندما يركب مصعدا يتحرك لأعلى ، أو بقوة الطرد المركزية التى يشعر بها انسان يركب لعبة « دوامة الخيل » فى مدينة الملاهى · ولا يحتاج الأمر الاسترشاد بأجسام أخرى فى المكان المحيط بالمصعد أو دوامة الخيل ليعرف الراكب أنهما فى حالة حركة متعاجلة ·

ولكن ما هو مصدر قوى القصور الذاتى ؟ ان « نيوتن » يعزى هذه القوى إلى المكان الذى تجرى فيه الحركة المتعاجلة · ولو كان ذلك صحيحا فانه يعنى أن يظل المرء يشعر بقوة الطرد المركزى فى دوامة الخيل لو دارت بالنسبة للمكان المحيط بها حتى لو أخلى الكون من كافة محتوياته عداها ! لذلك تعتبر قوى الطرد المركزية ظاهرة تفند المذهب العلاقاتى وترسى فكرة مادية المكان ·

١ ــ ٤ ماخ والنظرية العلاقاتية :

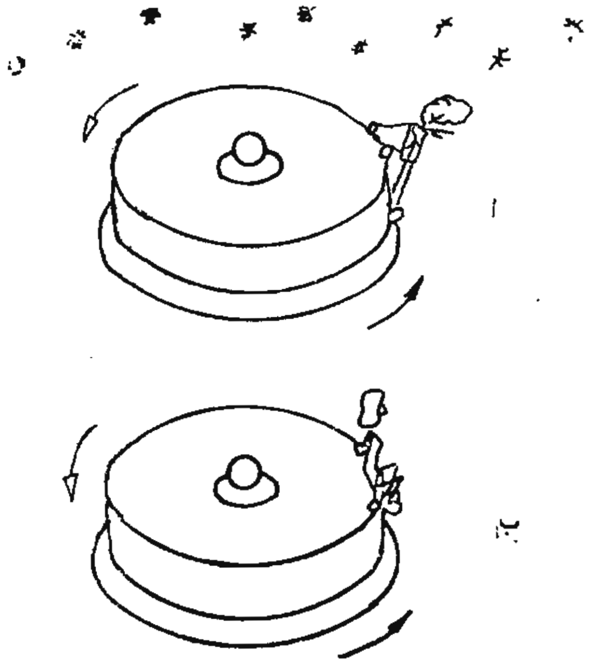
وبينما تعجز قوانين « نيوتن » عن توفير وسيلة تتيح تحديد موقع جسم ما فى المكان وقياس سرعة تحركه عبر المكان ، مما يعزز المذهب العلاقاتى ، نجد أن تأثير القصور الذاتى يعضد فيما يبدو النموذج النيوتونى الذى يعتبر المكان عنصرا ماديا يمكن أن يؤثر على الأجسام فى بعض حالات الحركة على الأقل ٠

غير أننا لو تدارسنا المسألة بمزيد من التمحيص ، فسنجد أنها محاطه بنوع من الغموض ٠ فالقول على سبيل المثال بأن قوى الطرد المركزية تظل باقية فى دوامة الخيل بعد اخلاء الكون من كل محتوياته عداها لهو قول مدحوض تماما ، فليس هناك سوى كون واحد ولا يمكن أن نخليه من جميع محتوياته ٠ ومن ثم يمكننا ، دون الاخلال بشىء ، الاستعاضة عن مفهوم العجلة (فى حالة الدوران) المقاسة بالنسبة للمكان النيوتونى بمفهوم العجلة المنسوبة الى سائر المادة فى الكون ٠ وتلك كانت الفكرة التى طرحها فى القرن التاسع عشر الفيلسوف والفيزيائى النمساوى ارنست ماخ (Ernst Mach) (١٨٣٨ ــ ١٩١٦) ٠ وقد حاول ماخ تعزيز وجهة نظره بالاستعانة بحقيقة علمية واقعية معروفة : فلو وضعنا بندولا حر الحركة ، عند أحد القطبين على سطح الأرض وحركناه ، فلن يستمر فى حركته التذبذبية فى مستوى الحركة نفسه الى ما لا نهاية ، حيث ان اتجاه الذبذبة (أو مستوى الحركة) سيدور ببطء ليكمل دورة تامة فى اليوم (فى اتجاه عقرب الساعة لو كنا فى القطب الشمالى والعكس فى القطب الجنوبى) ٠ ومثل هذا البندول معروض فى متحف العلوم بلندن لمن يعتريه شك فى ذلك ٠ ويكمن تفسير تلك الظاهرة فى دوران الأرض حول محورها ، غير أن الشىء الجدير بالملاحظة هو أن مستوى ذبذبة البندول يظل ثابتا « بالنسبة للنجوم البعيدة » ، أى أنه رغم دوران الأرض ليس هناك تأثير معاجل للبندول ، وهو حر الحركة كما أوضحنا ٠

نحن اذن أمام حقيقة واقعية تفيد بأن الآلية الميكانيكية التى لا تتعرض لقوى قصور ذاتى لا تتعرض كذلك لمعاجلة فى حركتها بالنسبة للنجوم البعيدة (أو بالأصح المجرات الأخرى ، حيث ان النجوم تدور ببطء داخل المجرة) ٠ واذا كانت مثل هذه الحقيقة تعتبر ، وفقا للنموذج الذى وضعه « نيوتن » للمكان ، مجرد مصادفة ، فانها تكتسى فى نظر « ماخ » أهمية بالغة ٠ فانها لا تعنى بالنسبة له انه يمكن الاستعاضة عن فكرة عزو العجلة للمكان بفكرة ارجاعها للنجوم البعيدة فحسب ، وانما هى تفترض أيضا ان

الآليات الميكانيكية المحلية (مثل البندول) ينبغي أن تكون واقعة تحت تأثير المحتوى المادى البعيد في الكون ، حتى يمكن «معرفة» الاطار المرجعي المحلى غير المعاجل • ومن هذا المنطلق نسب « ماخ » القصور الذاتى الذى تتعرض له الآليات المتعاجلة الى « التفاعل » مع المادة البعيدة فى الكون • انها نظرية عجيبة ! فهى تعنى أن القوة التى يشعر المرء انها تدفعه للخلف وهو يحاول دفع سيارة للأمام انما تعزى الى تأثير مجرات تقع على بعد آلاف الملايين من السنوات الضوئية !! وتعنى أيضا ان قوى القصـور الذاتى ستتوقف لو أزيلت المجرات من الكون ، أى انه لن يتنـاثر ركاب دوامة الخيل مهما زادت سرعة دورانهـا ، لو كانت فى كون خال من المادة • ولا شك أن مفهوم الدوران أصلا سيصبح بلا معنى فى مثل هذا العالم •

غير أن « ماخ » لم يتمكن من الارتقـاء بفكرته هذه عن الكون الى مستوى النظرية العلمية (بل انه لم يستطع حتى أن يحدد طبيعة التفاعل مع المادة البعيدة في الكون) ، وقد باءت بالفشل كذلك محاولات الكثيرين من بعده لتحقيق تقدم فى هذا المجال • وسوف نرى فى الباب الرابع من هذا الكتاب أن « الجاذبية » هى هذا التفاعل الطبيعى الذى يضفى المصداقية على مبدأ « ماخ » • ولا تشكل النظرية السائدة بشأن الجاذبية تجسيدا مقنعا تماما لأفكار « ماخ » ، ومع ذلك فان هذا القصور ينطوى على شىء من الدعم لفكرة عزو العجلة الى المكان الخالى من المادة ، فلا يبدو أن هناك أى شىء مستمد من قوانين « الميكانيكا » يحقق النموذج الشامل الذى وضعه « نيوتن » للمكان على أساس ان الأجسام تتسم بموقع محـدد فى المكان وسرعة عبر المكان • وثمة نموذج نيوتونى معدل للمكان ، حيث تتباين فيه بعض أنواع الحركة (وهى الحركة المتعاجلة التى تتسم بوجود قوى القصور الذاتى) عن أنواع الحركة الأخرى (الحركة المنتظمـة) التى تشكل فئة مميزة (لعدم تعرضها للقصور لذاتى) • ويطلق على انواع الحركة المنتسبة لهذه الفئة «الحركة القصورية» (inertial motions) وعلى أطرها المرجعة «الأطر المرجعية القصورية» (inertial reference frames) وبدلا من اعتبار المكان عنصرا ماديا فانه يتخذ صورة أكثر دقة ، حيث يعتبر وسيلة للتمييز بين هذه الأنواع المختلفة ـ) الأطر المرجعية •



شكل ١ ـ ٧

الشكل ١ ـ ٧ : اصل القصور الذاتى · يشعر الرجـل المتعـلق بدوامة الخيل فى (١) بقوة تعمل على الاطاحة به ، فما هو مصدر هذه القوة ؟ وقد لاحظ ارنست ماخ أن الرجل يرى النجوم أيضا تدور حوله وتتوقف القوة المؤثرة عليه اذا توقفت النجوم عن الدوران · فهل النجوم هى التى تسبب تلك القوة ؟ لو كان ذلك صحيحا فمن شأن قوى القصور الذاتى أن تختفى فى الكون الخالى من المادة (الشكل ب) · ان ظهور مثل هذه القوى عندما يتعرض الجسم للمعالجة (كان يدور) يكسب الجسم قصورا ذاتيا . او كتلة قصورية · ومازالت هذه مجرد فكرة تكهنية ·

ويسمح التمثيل النيوتونى للمكان والزمان بالفصل بين حدثين من حيث الزمان حتى لو وقع الحدثان فى مكانين مختلفين ، أما الحديث عن الفصل بين حدثين من حيث المكان ما لم يكونا متزامنين فهو كلام لا معنى له وفقا لهذا النموذج ·

وقد نيسر تلك الملاحظة الى الفهم بأن نتناول حدثا ما باعتباره شيئا يجرى فى توقيت محدد وفى موقع معين من المكان ، ولنضرب مثلا بدقات

الساعة : فليس هناك لبس فى أن الحدثين المتمثلين فى دقات الساعة فى الخامسة والسادسة هما حدثان محددان تفصل بينهما ساعة زمن سواء أكنا جالسين أمام تلك الآلة الزمنية فى المرتين أم خلفها او حتى على سطح الشمس (ما لم تمنعنا سخونة المقعد !) • أما لو سألنا عن الفاصل المكانى بين الحدثين فلن نجد اجابة واضحة على الاطلاق • فلو كنا جلوسا امام آلة قياس الوقت فلن نشعر أنها تحركت من مكانها خلال ساعة الزمن التى انقضت بين الخامسة والسادسة ، بل اننا سنميل الى القول بان الحدثين قد وقعا فى توقيتين مختلفين ولكن فى المكان ذاته (فى غـرفة المعيشة مثلا) • ولكن من الحقيقى أيضا أن الأرض قد تحركت خلال هذه الساعة وقطعت نحو مائة الف كم فى رحلتهاحول الشمس وبالتالى ، لو رصـد الحدثان نفسهما من على سطح الشمس فسيظهران بفاصل ساعة فى الزمن وبفاصل مائة ألف كم فى المكان • لا خلاف اذن فى الحالتين من حيث الفاصل الزمنى ولكن اختلف الأمر فيما يتعلق بالفاصل المكانى •

واذا لم يكن هنـاك من سبيل لوصف العالم المـادى الا باستخدام قوانين الميكانيكا التى وضعها « نيوتن » وحدها ، فسوف يستبعد المرء حتما النموذج النيوتونى الأول للمكان ويقنع بالنموذج المعدل • ومع ذلك من الوارد أن تكون هناك ظواهر طبيعية أخرى من شأنها أن تكون على علاقة ببنية المكان بطريقة مستقلة عن حركة الأجسام المادية • وقد تستغل هذه الظواهر الأخرى ، لدى تفاعلها مع المادة ، فى تحديد سرعة الأرض على سبيل المثال ، عبر المكان النيوتونى • ولتأكيد احتمال وجود مثل هذه الظواهر لابد من اجراء مراجعة قصـــيرة للنظـريات المتعلقة بالجـاذبية والكهرومغناطيسية •

١ ـ ٥ ـ نظرية نيوتن بشأن الجاذبية الكونية :

ومن أبرز ما حققته نظرية « نيوتن » من نجاح فى مجال الميكانيكا هو قدرتها على أن تصف بدقة حركة الكواكب فى المجموعة الشمسية تحت تأثير قوة الجاذبية (gravity) • وكان « نيوتن » قد وضع ، اثر ملاحظاته ودراسته لعملية سقوط الأجسام (على نحو ما هو معروف من قصة سقوط التفاحة) ، نظرية بشأن الجاذبية الكونية • وتقول هذه النظرية ان كل الأجسام المادية فى الكون تتجاذب فيما بينها بفعل قوة الجاذبية • ويمكن استنتاج بعض خصائص الجاذبية من خلال الممارسات اليومية العادية • فالفادن الذى تقـاس به الاستقامة الرأسـية للمبانى يتخذ وضعا رأسـيا بسبب الجاذبية الأرضية ، بما يفيد بأن القوة التى تربط بين جسمين

كريين تقع على خط مركزيهما · ويمكن أن تعزى قوة الجاذبية بين الأجسام الى نوع من « الشحنة » الجاذبة ، على غرار القوى الكهربائية الموجودة بين الأجسام المشحونة كهربيا · وقد اكتشف العالم الايطالى جاليليو جاليلى (Galileo Galilei) (١٥٦٤ ــ ١٦٤٢) تلك الظاهرة الطبيعية المهمة المتمثلة فى أن الأجسام التى تسقط فى وقت واحد بالقرب من سطح الأرض تصل أيضا فى وقت واحد الى الأرض ، أى انها تتعرض لمقدار متساو من العجلة ، وسوف نتناول هذه الظاهرة بالتفصيل فى الباب الثالث · وبالرجوع الى قانون « نيوتن » الثانى (المعادلة (١ ــ ١ » التى تقول ان (القوة = الكتلة × العجلة) نجد أن ثبات قيمة عجلة الجاذبية يقتضى أن تتناسب قوة الجاذبية مع كتلة الجسم · ولتبسيط ذلك الى الفهم فلنتصور جسمين أحدهما أثقل من الآخر ، ولا شك أن الجسم الأثقل يشكل صعوبة أكبر فى معاجلته لأسفل ، غير أن قوة الجاذبية التى تؤثر عليه تزيد هى أيضا بنفس نسبة زيادة الكتلة بحيث يحدث التعادل فى نهاية الأمر · ويمكن وصف هذه الظاهرة بأن الشحنة الجاذبة تتناسب مع الكتلة ، وتلك حقيقة سنرى معا انها تكتسى أهمية بالغة ·

وأخيرا ثمة معلومة بسيطة مستمدة من حركة الكواكب فى السماء تفيد بأنه كلما بعد الكوكب عن الشمس زادت مدة دورته حولها ، وهذا يعنى أن قوة الجاذبية تقل مع زيادة المسافة ·

ويقول قانون « نيوتن » بشأن الجاذبية بأن قوة الجذب بين جسمين (أصمين) كتلتاهما $ك_١$ و$ك_٢$ وتفصل بينهما المسافة ف ، يمكن حسابها بالمعادلة الآتيـــة :

$$ق = \frac{ج\, ك_١\, ك_٢}{ف^٢} \qquad ١ - ٢$$

حيث (ج) هى معامل ثابت ذو قيمة متساوية بالنســبة لجميع الأجسام فى الكون ، ويطلق عليها معامل « نيوتن » الثابت للجاذبية ، وهو عبارة عن قيمة النسبة الثابتة (المشار اليها آنفا) اللازمة لتحويل وحدات الكتلة الى وحدات الشحنة الجاذبة ·

وتجدر الاشارة الى أن نيوتن قد وضع شرطا أساسيا صعبا فى هذا القانون ، حيث افترض أن القوة تؤثر على التو عبر المكان الخالى الفاصل بين الجسمين · انها اذن نظرية التأثير الفورى عن بعد · ولعلنا نذكر بأن التزامن هو مفهوم واضح محدد تماما وفقا للنموذج النيوتونى للزمان ·

ولقد أدمج « نيوتن » قانون الجاذبية (١ ـ ٢) وقانون الحركة الأساسى (١ ـ ١) واستنتج أن مسارات الكواكب حول الشمس هى مسارات بيضاوية • وهذا صحيح ، وهو يعد نجاحا مشهودا للميكانيكا النيوتونية ، بل وللفلسفة أيضـا حيث انه يثبت أن حتى « الأجسـام السماوية » ، على نحو ما كان ينظر لها فى ذلك الحين ، تخضع لقوانين الطبيعة الواقعية التى يمكن التوصل اليها فى المعامل الأرضية • وكم تكرر سرد هذا الدرس فى التاريخ كلما اكتشفت على الأرض قوانين جديدة بشأن أسرار الطبيعة وثبت صحتها حتى بالنسبة لأبعد المناطق التى يمكن أن نراها فى الكون ! •

١ ـ ٦ ـ نظرية ماكسويل بشأن الكهرومغناطيسية والأثير :

ورغم النجاح الضخم الذى حققته نظرية « نيوتن » فى شرح حركة الكواكب حول الشمس تحت تأثير قوة الجاذبية الفورية فانها « لم » تتح ايجاد تفسير سليم لحالة على درجة كبيرة من التماثل مع حالة الكواكب ، وهى حركة الجسيمات المشحونة كهربيا والتى تتفاعل فيما بينها عبر المكان الخالى تحت تأثير القوى الكهربية والمغناطيسية • ومثلما أن الأرض تدفع فى تحركها الى الحيد عن الخط المستقيم تحت تأثير جاذبية الشمس ، فان أى جسيم مشحون كهربيا ، مثل الالكترون ، سيدفع الى التحرك فى مسار منحن تحت تأثير القوى الكهربية والمغناطيسية • ولا جدال فى أن الصورة الحديثة للذرة تماثل من عدة وجوه بنية المجموعة الشمسية ، حيث تتوسط الذرة نواة ثقيلة تحمل شحنة موجبة (وتناظر بذلك الشمس) وتدور حولها الذرات الخفيفة المتحركة بسرعة عالية •

غير أن ثمـة ثلاثة اختـــلافات مهمة بين قوى الجاذبيـــة والقوى الكهرومغناطيسية :

أولا : فان بعض أنواع الجسيمات فقط هى التى تحمل شحنة كهربية بينما تكمن شحنة الجاذبية فى كافة صور المادة والطاقة •

ثانيا : تنقسم القوى الكهربية الى قوى جذب وقوى تنافر مما دفعنا الى تقسيم الجسيمات المشحونة الى فئتين : فئة تحمل شحنة موجبة وفئة تحمل شـحنة سالبة • وبينما تتجاذب الجسيمات التى تحمـل شحنات متخالفة تتنافر تلك التى تحمل شحنات متماثلة • أما الأجسام الخاضعة للجاذبية الكونيـة فانها تتجاذب على الدوام • ويعزى السبب فى تنافر الشحنات المتماثلة فى الحالة الأولى الى أن القوة الكهرومغناطيسية هى قوة

« موجهة » أى أن لها اتجاها قابلا للتغير كشأن شدتها (ويوضح ذلك لماذا يتبغى طرح فكرة القوى المغناطيسية الى جانب القوى الكهربية) بينما تعمل قوى الجاذبية النيوتونية دائما فى اتجاه الخط الواصل بين الجسمين ٠ أما وجه الاختلاف الثالث والأخير بين هذين النوعين الأساسيين من القوى الطبيعية فيتمثل في شدتهما النسبية ٠ فالقول بأن القوى الكهرومغناطيسية في الذرة تعد أشد كثيرا من قوى الجاذبية الكونية هو قول مبخس ، حيث انها تفوقها بنسبة ١٠^٣٩ (أى واحد على يمينه ٣٩ صفرا !) ٠ ولهذا السبب تهيمن القوى الكهرومغناطيسية على كافة ظواهر الحياة اليومية تقريبا ٠ ومع ذلك فان التكتلات الضخمة من المادة ، تتسم على نحو ما بالتعادل الكهربى ، ويرجع الفضل فى ذلك الى وجود الشحنات الكهربية المضادة ٠ وعلى النقيض من ذلك تتسم شحنة الجاذبية فى المادة المكونة للارض بأنها تراكمية رغم ضعفها البالغ ٠ ومع مرور الوقت ووصول الأرض الى حجمها ـ المكون من ١٠^٥١ ذرة ـ صار للجاذبية ، بفضل الكثرة العددية ، تفوق ساحق على التأثير الكهرومغناطيسى رغم شدته البالغة ٠

ويرتبط عجز الفيزيائيين السابقين عن وضع نظرية تأثير عن بعد تخص الكهرومغناطيسية ، بهذه الفوارق كما يرتبط بشدة كذلك بمسألة « عدم التناظر الزمنى » على نحو ما سنرى فى الباب السادس ٠ وقد أمكن فى السنوات الأخيرة التغلب على هذا « القصور » بحيث صار بوسعنا إعادة صياغة نظرية الكهرومغناطيسية وذلك الفرع من العلم المتعلق بها ونعنى الكهروديناميكا (أى حركة الجسيمات المشحونة كهربيا وتأثيراتها) ، على نمط صيغة التأثير عن بعد ٠

ولقد جاءت الانطلاقة الكبرى فى فهم القوى الكهرومغناطيسية نتيجة للانجازات الرياضية المبهرة التى حققها فى القرن التاسع عشر الفيزيائى البريطانى جيمس كليرك ماكسويل (James Clerk Maxwell) (١٨٣١ ـ ١٨٧٩) ٠ فقد أدمج ماكسويل نتائج التجارب العملية التى كان قد أجراها كل من الدانمركى هانز أورستيد(Hans Oersted) (١٧٧٧ ـ ١٨٥١) والانجليزى مايكل فاراداىMichael Faraday (١٧٩١ ـ ١٨٦٧) والروسى هنريتش لينز Heinrich Lenz (١٨٠٤ ـ ١٨٦٥) وآخرون ، فى سلسلة موحدة من المعادلات الرياضية التى تصف بدقة وروعة شكل التداخل بين حركة الجسيمات المشحونة كهربيا وطريقة تأثير القوى الكهرومغناطسية وتدور نظرية ماكسويل برمتها حول ما أرساه من مفهوم عميق وجديد تماما فى عالم الفيزياء وهو مفهوم « المجال » (the field) ٠ لقد أعاد ماكسويل صياغة قوانين الكهرومغناطيسية بلغة جديدة هى لغة المجالات ، وتمكن

بالتالى من أن يزيل بدفعة واحدة كل الصعاب والمشاكل المتعلقة بمسألة التأثير عن بعد ، فاتحا بذلك صفحة جديدة تماما فى تاريخ العلم الطبيعى ·

ويتسم المجال من عدة أوجه بقدر أكبر من التجريد قياسا بالجسيم· وتتمثل فكرة ماكسويل فى أن كل جسيم مشحون يحيط به مجال كهرومغناطيسى كهالة غير مرئية ، ولا يمكن ادراك وجود هذا المجال الا لو نفذت اليه جسيمات مشحونة أخرى ، فيظهر عندئذ تأثير المجال فى صورة قوة يؤثر بها على هذه الشحنات الدخيلة عليه · ولما كان الفيزيائيون فى القرن التاسع عشر يميلون الى تشبيه المجال بحركة الموائع ، فقد برز اتجاه الى استخدام كلمات مثل التيار المغناطيسى (magnetic flux) وخطوط القوة (lines of force) (على غـــرار خطوط التيـــار streamlines بالنسبة للموائع) وهى كلمات ما زالت مستخدمة حتى اليوم ، غير أن التشبيه بالموائع يقتضى وجود نوع من «الوسط» (medium) لينقل تأثير الشحنات على بعضها · ولقد كان الاقتناع فى القرن التاسع عشر بتماثل المجال مع حالة الموائع راسخا بدرجة أن أطلق اسم « الأثير » (ether) على هذا الوسط المتعلق بالمجال · وقد افترض العلماء أن هذا الوسط يملأ كل المكان الخـــالى دون أن يـكون مرئيـــا ، واعتبروا أن المجـــالات الكهرومغناطيسية هى بمثابة ضغوط داخلية (stresses) فى الأثير · بل ولقد برز احتمال جديد أكثر اثارة : فمثلما يحدث فى أنواع الوسط المألوفة مثل الهواء ، حيث قد يؤدى أى خلل الى توليد موجات ضغط تذبذبية (مثل موجات الصوت العادية) تنتشر للخارج بسرعة ثابتة مرهونة بما يتسم به الهواء من خصائص المرونة ، من الوارد أيضا أن يؤدى أى خلل فى الجسيمات المشحونة الى توليد موجات ضغط فى هذا الأثير المزعوم · بل انه بوسعنا حســاب سرعــة هذه الموجــات بســهولة عن طريق الخصائص الكهربية والمغناطيسية لهذا الوسط ، وما هو فى هذه الحالة سوى المكان « الخالى » · وفى الوقت الذى تكهن فيه ماكسويل بوجود هذه الموجات الكهرومغناطيسية كانت قيمة الكميات المتعلقة بها معروفة ، وفى مقدمتها سرعة انتشار الموجات فى الأثير والتى تبين أنها سرعة بالغة تصل الى نحو ثلاثمائة الف كيلومتر فى الثانية · ونحن نعتقد حاليا أن هذه هى أقصى سرعة فى الكون (على الأقل بالنسبة للأجسام العادية) · غير أن ذلك كان يكتسى معنى آخر مهما فى زمن ماكسويل · فلقد كانت هذه على وجه الدقة هى السرعة التى حددها عالم الفلك الدانمركى أولاوس رومر (Olaus Romer) (١٦٤٤ ـ ١٧١٠) لانتشار الاشارات الضوئية بناء على ملاحظاته لمدارات أقمار كوكب المشترى ! لقد حقق علم الفيزياء فى ذلك الحين طفرة كبيرة · فلقد بدا أن الضوء يتكون من موجــات كهرومغناطيسية ناجمــة عن حركة جسيمات مشحونة كهربيا ، وتتحرك هذه الموجات عبر المكان فى صورة ذبذبة للأثير ·

ولم يتوقف الأمر عند هذا الحد · فاذا كان تردد الموجات الصوتية قابلا للتغير فان نفس الشيء ينطبق على تردد الموجات الكهرومغناطيسية · والواقع أن التغيرات المحدودة في تردد الموجات الضوئية تؤدي الى اختلاف لون الضوء ، ولكن ماذا عن التغيرات الكبيرة ؟ ان الضوء ذاته ينجم عن الخلل العنيف عالى التردد الذى يقع نتيجة تعرض الذرات لعوامل التحفيز مثل الحرارة العالية · غير أنه يمكن في المعامل توليد أنواع من الخلل أضعف كثيرا من حالة الضوء وذلك عن طريق آليات كهربية تتيح تحريك الجسيمات المشحونة بترددات محدودة نسبيا ، فهل يمكن رصد مثل هذه الموجات ؟ نعم بالتأكيد : انها ليست سوى موجات الراديو التى سعى الى اكتشافها العالم الألمانى هنريتش هرتز Heinrich Hertz (١٨٥٧ ـ ١٨٩٤) وتمكن بالفعل من انتاجها بعد زهاء عشرين عاما من تكهن ماكسويل بوجودها · ولقد أصبحت اليوم كل سلسلة ترددات الموجات الكهرومغناطيسية مألوفة للفيزيائيين ، فعلاوة على موجات الراديو والموجات متناهية الصغر (الميكروويف) هناك الاشعاعات الحرارية (الأشعة تحت الحمراء) والأشعة فوق البنفسجية والأشعة السينية وأشعة جاما ، وكلها مفهومة وفقا لنظرية ماكسويل التى يربو عمرها الآن على مائة عام ·

وقد وفر الاهتداء الى الموجات الكهرومغناطيسية وسيلة حاسمة لاختبار النموذج الذى وضعه « نيوتن » للمكان والزمان · ولقد شكل التغير الذى صاحب هذا الاختبار عند مطلع القرن العشرين ، والصرح الرياضى والفيزيائى المبهر الذى نجم عن هذا التغير ، منعطفا فى تاريخ الفيزياء والفكر البشرى يرقى الى مستوى الثورة التى فجرها « نيوتن » قبل ذلك بقرنين من الزمان · وتتمثل هذه الثورة الجديدة فى نظرية النسبية ·

الباب الثانى

ثـورة النســـبيـة

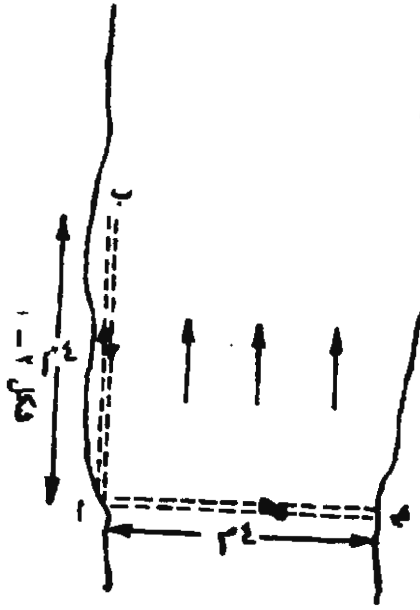
٢ ـ ١ المكان والزمان فى أزمة

رأينا أنه لا يمكن تحديد موقع جسم ما أو قياس سرعته بأية وسيلة ميكانيكية وفقا لنموذج المكان المطلق الذى وضعه « نيوتن » • ولكن بظهور نظرية ماكسويل للكهرومغناطيسية برز امكان استخدام الخصائص البصرية ـ أى حركات الاشارات الضوئية ـ لقيـاس سرعة تحـرك الأجسام عبر المكان • وكان نجاح مثل هذه المغامرة يرتهن بشـدة بمفهوم ماكسويل للأثير ، حيث كان يعتبره نوعا من الموائع يملأ الفضـاء (ويفترض أنه ساكن) ، ومن ثم يمكن استنتاج حركة الأجسام فى الفضاء من خـلال تحركها فى الأثير •

وكان هناك على وجه الخصوص اعتقاد بأنه يمكن تحديد سرعة تحرك الأرض عبر الأثير وفقا للمنطق التالى : تدور الأرض حول الشمس فى مسار بيضاوى ، ولذلك فهى تتحرك عبر الأثير بسرعة متغيرة • ولو اتخذنا موقعا ثابتا على سطح الأرض كاطار مرجعى ، فسنجد أن الأثير يشكل تيارا متدفقا موازيا لسطح الأرض ، ولكن يفترض أن يكون هذا التيار خفيفا للغاية بحيث لا يشكل أية قوة أو مقاومة لحركة الأرض والا تعارض مع قوانين الميكانيكا النيوتونية ، وأدى الى تباطؤ حركة الأرض وسقوطها فى نهاية المطاف على الشمس • ومع ذلك كان العلماء فى القرن التاسع عشر يؤمنون ايمانا راسخا بأن تيار الأثير شىء حقيقى تماما • وكانت المشكلة فى ذلك الحين هى كيف يمكن قياس معدل تدفق هذا الأثير • وتقول نظرية ماكسويل ان الضـوء ينتشر عبر الأثير بسرعة ثابتة لا ترتهن الا بدرجة « مـرونة » (elasticity) هذا الوسط • وهذا يعنى أن سرعة الضوء ، لو قيست من موقع ما على سطح الأرض ، فستختلف بحسب اتجاه انتشار هذا الضوء • فلو كان الضوء متحركا على سبيل المثال فى اتجاه مواز لتيار الأثير فانه سينتقل بسرعة أكبر مما لو كان متحـركا فى عكس اتجـاه التيـار •

وتلاحقت الجهود البارعة لقياس سرعة تدفق الأثير • وكانت أبرز تلك التجـارب هى ما قام به فى ١٨٨٧ الفيزيائيان الأمريكيان البرت مايكلسـون Albert Michleson (١٨٥٢ ـ ١٩٣١) وادوارد مـورلى Edward Morley (١٨٣٨ ـ ١٩٢٣) • ولعل أفضل طريقة لشرح فكرة تجربتهما هى تشبيه الأثير بتيار مائى فى نهر عادى • فلو قارنا بين سباح يعبر النهر من ضفة لضفة ثم يعود مرة أخرى (الشكل ٢ ـ ١) وآخر

يسبح بنفس السرعه بالنسبه للماء ويقطع نفس المسافه فى اتجاه التيار ثم يعود فى عكسه ، فسنجد دائما أن الأول يصل قبل الثانى · والسبب فى ذلك بسيط ويعزى الى أن السباح الثانى يواجه التيار الذى يساعده فى الذهاب ولكن يعوقه فى الاياب ، ولأن رحلة الاياب أبطأ من الذهاب فانها تستغرق وقتا أطول ، ويزيد زمن الاعاقة فى العودة عن زمن المساعدة فى الذهاب ، فتكون النتيجة أنه يصل دائما متأخرا عن زميله الذى لا يتعرض فى كل من رحلتى الذهاب والعودة الا لمقاومة ضعيفة يمكنه التغلب عليها بالسباحة بزاوية ميل مع التيار ·



الشكل ٢ ـ ١ سباق شعاع الضوء وفقا لتجربة مايكلسون ـ مورلى ·
يدخل أحمد وعلى فى سباق للسباحة وكلاهما يسبح بسرعة ٤ أمتار فى الثانية · ينطلق الاثنان من نقطة واحدة (١) فى توقيت واحد ، ويسبح « على » فى اتجاه التيار فيصل الى النقطة (ب) ثم يعود بينما يسبح احمد نفس المسافة عبر النهر الى النقطة (ج) ويعود ، ويفوز احمد فى كل مرة · والسبب بسيط : نفترض ان سرعة التيار تساوى مترين فى الثانية · يصل أحمد الى النقطة (ج) فى زمن قدره ١١½ ثانية بينما يصل على ، وقد ساعده التيار فاصبحت سرعته ستة امتار فى الثانية ، الى النقطة (ب) فى ٦½ ثانية فقط · غير ان على يفقد تقدمه فى رحلة العودة حيث يواجه التيار فتكون سرعته مترين فقط فى الثانية ، ولذلك تستغرق رحلة عودته ٢٠ ثانية كاملة فيبلغ مجموع زمنه ٢٦½ ثانية · اما احمد فتستغرق رحلة عودته نفس زمن رحلة الذهاب فيكون مجموع زمنه ٢٣ ثانية اى انه سيسبق على بفارق ٣½ ثانية ·

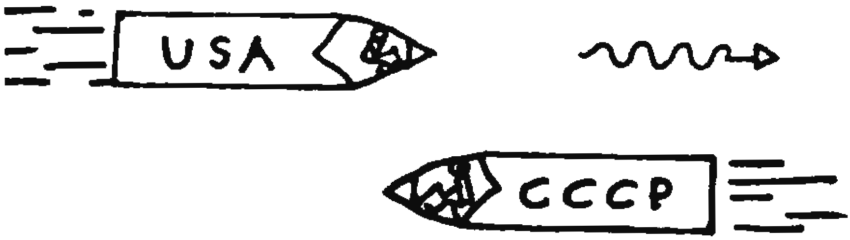
وقد استخدم مايكلسون ومورلى أشعة الضوء « كسباحين » فى تيار الأثير حيث بثاها ذهابا وايابا فى اتجاهين متعامدين . ويمكن بمطابقة الشعاعين العائدين التوصل الى قياس دقيق للفارق الزمنى فى رحلتيهما . غير أن النتيجة جاءت محيرة ، بل انها شكلت انفجارا أطاح بشكل حاسم بالفيزياء التجريبية وأسدل الستار على صرح النموذج النيوتوني للمكان والزمان وكان عمره فى ذلك الحين مائتى عام . فرغم أن جهاز مايكلسون ومورلى كان دقيقا بدرجة تكفى لقياس الحد الأدنى من التأثير المتوقع نتيجة حركة الأرض المدارية ، فانهما لم يتوصلا ببساطة الى أى شىء على الاطلاق : لقد توقف تيار الأثير - ولم يستأنف تدفقه بعد ذلك مطلقا .

وقد فجرت مسألة عدم وجود تيار أثير تناقضا جوهريا محيرا فى علم الفيزياء . وتوالت الجهود سعيا الى ترميم نظرية الأثير ، ولكنها تحولت كلها الى ضرب من السخافة عندما واجهت فكرا قويا جديدا تماما . فقد جاء البرت اينشتين Albert Einstein (ألمانى ، ١٨٧٩ - ١٩٥٥) ، وهو واحد من أعظم الفيزيائيين فى العالم على مدى التاريخ ، ونسف كل المفهوم الذى جرت فى اطاره تجاوب تيار الأثير برمته . ولم يقترح شيئا أكثر من مجرد التخلى تماما عن النموذج النيوتونى المألوف للمكان والزمان بكل ما حققه من نجاح على مدى هذا العمر الطويل ، واستعاض عنه بنظرية أسفرت عن نتائج عجيبة وغير مألوفة . وقد نشر اينشتين النظرية الجديدة فى صورتها الأساسية فى عام ١٩٠٥ وأسماها نظرية النسبية الخاصة . وقد فتحت هذه النظرية صفحة جديدة فى تاريخ العلم .

وتنطوى نظرية النسبية فى جوهرها على رفض لمفهوم «نيوتن» للمكان باعتباره عنصرا حقيقيا . فلا يمكن رصد الأثير لأنه لا وجود له ، كما ان فكرة وجود اطار ساكن مطلق يمكن أن تقاس بالنسبة له سرعة حركة الأجسام فى المكان تعد فى مجملها محض خيال . أما الحركة المنتظمة فانما هى تعرف « نسبة » الى منظومة مادية أخرى ، كذلك ، فانه لا يمكن بأية حال رصد السرعة المطلقة لحركة منظومة ما عبر المكان لا بوسيلة ميكانيكية ولا بأية وسيلة أخرى . بل ان مفهوم الحركة المنتظمة عبر مكان ثابت يعد برمته بلا معنى . وهكذا سقط الأثير ، وسقطت معه كل الكيمياء القديمة وما يعرف بعلم اللاهوب (phlogiston) فى دنيا الفضول التاريخى ، وطرح اينشتين محله مبدأ جديدا عجيبا .

ويبدو مبدأ النسبية الجديد سلسا للوهلة الأولى ، ولكن سرعان ما يتضح انه محير تماما • يقول هذا المبدأ ان سرعة الضوء ثابتة فى أى مكان • وهذا يعنى أن الضوء يتحرك بسرعة واحدة سواء أقيست هذه السرعة على الأرض أم فى صاروخ منطلق ، وسواء أكان مصدر الضوء ساكنا أم متحركا صوب المشاهد أم مبتعدا عنه • بل انه يعنى أنه لو عمد شخصان متحركان بسرعة عالية على خطين متوازيين ولكن فى اتجاهين متضادين . الى قياس سرعة شعاع ضوئى واحد فسيرصدان سرعة واحدة !

ويتناقض هذا الوضع مع الافتراض السابق القائل بأن الضوء يتحرك بسرعة ثابتة عبر المكان • وقد نضرب مثلا لذلك برائد فضاء يركب صاروخا يتحرك بسرعة بالغة فى اتجاه مضاد لشعاع ضوئى ، فمن البدهى أن يقابل هذا الرجل الشعاع الضوئى بسرعة أكبر من زميل له يركب صاروخا مماثلا ويتحرك فى عكس الاتجاه حيث يتعقبه الشعاع ويحاول أن يتخطاه • لا شك أن هذه الحالة تنطبق بشكل صحيح على الموجات الصوتية ، ولن يجادل معظم الناس فى صحتها ، كذلك بالنسبة للموجات الضوئية • غير أن اينشتين كان له رأى آخر •• وهو أن كلا الصاروخين سيقابل الضوء متحركا بسرعة واحدة ! وذلك يعنى انه مهما بلغت طاقة الصاروخ فى تعقب الشعاع الضوئى سيظل هذا الشعاع يبتعد عن الصاروخ بنفس السرعة ، كما أنها لن تزيد أو تقل عن السرعة التى يبتعد بها الشعاع عن الصاروخ المتحرك فى عكس الاتجاه •



الشكل (٢ ـ ٢) : ثبات سرعة الضوء فى جميع الاحوال • رائد الفضاء الأمريكى ينطلق صوب النبضة الضوئية وهى تتقدم عليه بسرعة ٢ر٩٩٨ × ١٠ ^٨ متر فى الثانية • أما رائد الفضاء الروسى فيحاول الافلات من النبضة الضوئية ذاتها وهى تبتعد بسرعة ٢ر٩٩٨ × ١٠ ^٨ م/ث • ويزيد الأمريكى من سرعته ، ومازال الضوء يتقدم بنفس السرعة ٢ر٩٩٨ × ١٠ ^٨ م/ث • انه فى حال افضل من زميله الروسى الذى يبذل قصارى جهده فى الاتجاه المضاد ولكن بلا جدوى •

من الواضح اذن أن مبدأ ثبات سرعة الضوء يفسر فشل مايكلسون ومورلى فى رصد أى فارق زمنى بين شعاعى الضوء المتحركين ذهابا وايابا

فى اتجاهين متعامدين عبر «الأثير» ، فكلا الشعاعين يتحرك بسرعة واحدة بغض النظر عن اتجاه حركة الأرض • وعلى أية حال فان هذا المبدأ يبدو هراء ما لم نستبعد تماما فكرة ثبات المكان والزمان برمتها • ولابد أن هناك شيئا فريدا غريبا يفسر عجز الصاروخ ، مهما كانت قدرة محركاته ، عن التقدم قيد أنملة صوب الشعاع الضوئى •

٢ ـ ٢ سقوط النموذج النيوتونى للزمان

ولتصوير كم تكون الأمور غريبة اذا افترضنا ثبات سرعة الضوء ، عادة ما نلجأ الى مناقشة تجربة شخص يركب عربة قطار يتحرك بسرعة عالية (ولا شك أن الاختيار المتواضع لوسيلة النقل التى عادة ما تستخدم فى الأمثلة من هذا القبيل ، انما يعكس حقيقة ان القطار كان فى ذلك الحين ، نحو عام ١٩٠٥ ، هو أسرع مركبة بصفة عامة) •

ويقتضى التوصل الى نتيجة ملموسة أن نتصور مرة أخرى أن القطار يسير بالنسبة لقضبان السكة الحديد بالطبع ، بسرعة فائقة تصل قيمتها الى نسبة كبيرة من سرعة الضوء • (وتجدر الاشارة فى هذا المقام الى أن سرعة دوران الأرض حول الشمس لا تزيد على نسبة بالغة الضآلة قياسا بسرعة الضوء) • وقد يفسر عدم وجود مثل هذه الوسائل فائقة السرعة فى القرن العشرين السبب فى عدم ملاحظة أى شىء غريب فى حركة الحياة اليومية ، وأيضا سبب هذا الوقت الطويل الذى استغرقته عملية اكتشاف نظرية النسبية • وعلى أية حال ، سوف نعتبر أننا نستخدم قطارا خارقا !

وتتلخص التجربة الوهمية فى الآتى : نفترض أن شخصا يسمى (ا) يقف بداخل عربة القطار (انظر الشكل ٢ ـ ٣) ومعه مصدر ضوئى قد نبته فى منتصف العربة تماما • وعلى الرصيف يقف شخص آخر يدعى (ب) فى انتظار القطار الخارق ، ويمكن لهذا الشخص رؤية المصدر الضوئى والغرفة الداخلية للعربة • ويتحرك القطار بسرعة ثابتة أمام (ب) وفى لحظة معينة يرسل المصدر الضوئى ومضة قصيرة فى كلا الاتجاهين بطول العربة ، وعندما تصل الومضتان الى طرفى العربة يقوم كل من (ا) و (ب) برصدهما •

وسوف نلاحظ نتيجة عجيبة لهذه التجربة الوهمية ، فالشخص (ا) الموجود داخل القطار سيرى الومضتين تنطلقان فى لحظة واحدة وتخترقان المكان داخل العربة وتصلان الى طرفيها فى وقت واحد • ويعزى ذلك الى أن سرعة انتشار الضوء تتساوى بالنسبة للومضتين ، كما أن المسافتين اللتين تقطعانهما متساويتان • أما بالنسبة للشخص (ب) الواقف خارج

القطار ، فالأمر يختلف تماما · انه يرى هو أيضا النبضتين تتحركان بسرعة واحدة في كلا الاتجاهين ، غير أن السرعة تقاس في هذه الحالة بالنسبة للاطار المرجعي ل (ب) الواقف على المحطة · وبالتالي سيرى (ب) الومضة اليسرى تصل الى طرف العربة الأيسر « قبل » وصول الومضة اليمنى الى الطرف الآخر · ويرجع السبب في ذلك الى أن (ب) يرى (دون (أ)) كلا من القطار والومضتين الضوئيتين في حالة حركة بحيث انه خلال المدة التي استغرقها الضوء ليصل الى طرفي العربة يكون القطار قد تحرك لبعض المسافة . وبالتالي تكون المسافة التي تقطعها الومضة اليسرى أقل من تلك التي تقطعها الومضة اليمنى ومن ثم تصل قبلها بما ان سرعتيهما متساويتان ·



شكل ٢ ـ ٣

الشكل (٢ ـ ٣) : التزامن مسألة نسبية · بالنسبة للشخص (أ) تصل النبضتان الضوئيتان الى طرفي العربة في لحظة واحدة لانهما تتحركان داخل العربة بسرعة واحدة · ويرى الشخص (ب) ايضا ان النبضتين تتحركان بسرعة واحدة بالنسبة للرصيف ولكن خلال البرهة التي استغرقها مشوار النبضة (وتقدر قيمتها بـ ١/١٠ من الميكروثانية) تكون العربة قد تحركت الى موقع جديد موضح بالخط المتقطع · ولذلك يبدو للشخص (ب) أن النبضة اليسرى تصل الى الطرف الخلفي للعربة قبل أن تصل النبضة اليمنى للطرف الامامي لها ·

النتيجة اذن هي أن (أ) و (ب) يسعران بوقعين مختلفين لحدث واحد · فمن منهما على صواب ؟ هل تصل بالفعل الومضتان الى طرفي العربة في وقت واحد أم أن النبضة اليسرى تصل أولا ؟ تقول نظرية النسبية ان الاحتمالين صحيحان . فنحن لا نستطيع أن نقول ان « (أ) يتحرك وبالتالي فهو على خطأ » لأن الحركة المنتظمة التي يتحركها (أ) ليس لها معنى أو مبرر علمي وما هي الا حركة نسبية بالنسبة ل (ب) · وقد يقول قائل ان القطار ثابت والأرض هي التي تتحرك في عكس الاتجاه · ولا شك أن ذلك قد يبدو أكثر اقناعا لأن الأرض تتحرك بالتأكيد حول الشمس · وتقضي نظرية النسبية بعدم وجود أى اطار مرجعي مميز . فما من أحد له وضع خاص يجعله هو « على صواب » وكل من يتحرك بطريقة مختلفة عنه « على خطأ » · ومن النتائج الحتمية لتلك النظرية أن

بعض المصادفات التى كان يعتقد بصورة أو بأخرى أنهـا تحدث بشكل هادف صارت غير موضوعية بالمرة ، فهى تحدث « بالنسبة » لحالة حركة معينة ٠ وعلى ذلك فلا تعد ، على وجه الخصوص ، مسألة تزامن حدثين منفصلين خاصية مطلقة محكومة بالحدثين ذاتهما وانما هى نتيجة للطريقة التى تتم بها مـلاحظة الحدثين ٠ وفى المثال السابق نجـد أن ما يمثـل بالنسبة لـ (أ) « اللحظة نفسها » عند طرفى العربة ليس هو ما يمثل « اللحظة ذاتها » كما يرصدها (ب) ٠

ولقـد بدت هذه النظرة الجـديدة للزمان بالغة الغرابة فى مطلع الأمر ٠ وكان الناس قبل ظهور نظرية النسبية يؤمنون بمبدأ وحدة الزمان سواء بالنسبة لشخص يركب قطارا أو آخر يقف على الرصيف أو حتى ثالث يقف على كوكب المريخ ٠ وكان الزمان فى نموذج « نيوتن » يتصف بالاطلاق والعمومية ، وبالتالى فهو لا يتغير بحسب حالة حركة المراقب ، أى أنه كان زمانا واحدا بالنسبة للكون كله ٠ أما الآن فقد صار مفهوم الزمان ، باعتباره خلفية أو اطارا تقاس بالنسبة له الأحـداث ، مفهوما خاطئا ، حيث لم يعد هناك توقيت « واحد » عام شامل ٠

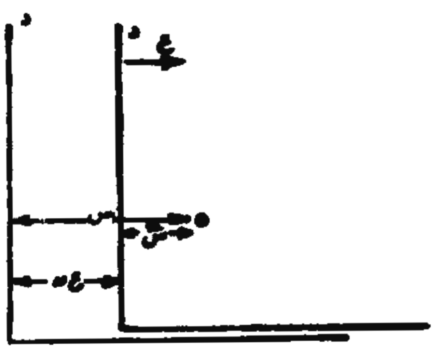
بل ان هناك من تبعات نظرية النسبية ما هو أكثر غرابة ٠ فلو تخيلنا فى المثال السابق قطارا ثانيا يحمل شخصا ثالثا يدعى (جـ) ويتحرك فى نفس اتجاه القطار الأول ولكن بسرعة أكبر ، فسوف يتجاوزه ، وسوف يشعر (جـ) عندئذ أن قطار (أ) يتحرك فى عكس الاتجاه ، أى من اليمين الى اليسار فى الشـكل ٢ ـ ٣ ٠ وبتحليل مماثل للتحليل السابق سنجد أن (جـ) سيرصد ومضتى الضوء تصلان الى طرفى العربة فى توقيت مختلف كذلك ، غير أنه سيرى الومضة اليمنى هذه المرة هى التى تصل أولا لأن الحركة بالنسبة له تجرى من اليمين الى اليسـار ٠ لقد انقلب ترتيب الأحداث عما رصده (ب) ٠ فبينما (ب) قد رصد الومضة اليسرى تسبق الومضة اليمنى ، جاء (جـ) (وهو على صواب كذلك) فرصد العكس تماما ٠ وبذلك تكون نظرية النسبية قد نسفت علاقة قبل/بعد التى كانت تربط بين الأحداث الواقعة فى أماكن منفصلة ، غير أن تلك العـلاقة تظل قائمة بالنسبة للأحداث التى تجرى فى مكان واحد ، أو بالنسبة أيضا للأحداث التى يمكن أن تتصل ببعضها باشارة تتحرك بسرعة تساوى سرعة الضوء أو تقل عنها ٠ والواقع انه ليس بوسع أى شخص أن يغير من حالة حركته بحيث يرى عجـلة الزمان تدور الى الوراء فى اطار مرجعى آخر ٠ ان كل ما يمكن أن يتأثر نتيجـة تغير حالة الحركة هو « المعدل » rate الذى يجرى به الوقت بالنسبة له ٠ ورغم أن الترتيب الزمنى لحدثين يجريان فى مكان واحد (دقات الساعة

على سبيل المثال) لا يمكن أن يتغير ، يختلف الأمر بالنسبة للمدة التى تفصل بينهما • ويمكن بسهولة فهم السبب فى ذلك ، ولكننا سنلجأ فى الشرح الى استخدام بعض قوانين الجبر البسيطة ، وقد يفضل القارىء الذى لا يهوى عمليات الجمع والطرح ، تجاوز الاثبات الجبرى والانتقال مباشرة الى مناقشة التأثير الناجم عن ذلك ، وهو ما يلى المعادلة (٢ ــ ٦) •

هب أن شخصين منتظمى الحركة (أ) و (ب) يتحركان بسرعة نسبية بينهما تساوى (ع) فى الاتجاه (س) (انظر الشكل ٢ ــ ٤) • ونفترض أن كلا من الشخصين ينتمى لاطار مرجعى صلب وهمى تقاس المسافات بالنسبة له ، فالشخص (أ) يقيس المسافات س من نقطة بداية فى الاطار المرجعى الخاص به ونرمز له بالعلامة (د) ، بينما يقيس (ب) مسافاته (س) من نقطة بداية فى اطاره الذى يحمل علامة (دَ) • وبدهى أن (س) و (سَ) سيكونان مختلفين الا عند اللحظة التى يتطابق فيها الاطاران (د) و (دَ) وسنعتبر ــ دون أن نفقد صفة العمومية ــ أن تلك اللحظة هى نقطة البداية الزمنية أى ن = صفر • وبعد مدة زمنية (ن) سوف ترتبط (س) و (س) بالعلاقة الآتية :

س = سَ + ن ع (٢ ــ ١)

حيث لابد أن نضيف الى المسافة (ن ع) تلك المسافة (س) التى قطعها الاطار (دَ) بالنسبة لـ (د) خلال المدة (ن) • وتعد المعادلة (٢ ــ ١) سليمة وفقا للفيزياء النيوتونية ، ولكن لابد أن نأخذ فى الحسبان أن الزمن (ن) الذى يقيسه (أ) قد لا يتطابق مع الزمن (ن) الذى يقيسه (ب) بسبب نسبية التزامن • علاوة على ذلك فقد لا تتماشى المعادلة (٢ ــ ١) مع القول بأن سرعة الضوء ستظل واحدة بالنسبة لـ (أ) و (ب) • ولعل أبسط تعميم للمعادلة (٢ ــ ١) من شأنه أن يعالج هذين التأثيرين هو أن نضعها على النحو التالى :



شكل ٢ ــ ٤

س = م (سَ + نَ ع)   (٢ ـ ٢)

حيث (م) هو معامل تقترب قيمته من الواحد كلما كانت (ع) ضئيلة ، فنحن نعلم أن الفيزياء النيوتونية تمثل وصفا جيدا للمجريات الفيزيائية « اليومية » وبالتالى فان المعادلة (٢ ـ ١) تعد صحيحة مادامت السرعة (ع) محدودة ٠

ومادامت الحركة المنتظمة تكتسى صفة النسبية ، فهذا يستوجب أن تكون العلاقة (٢ ـ ٢) متناظرة بين (د) و (دَ) ، حيث يمكن اعتبار (دَ) هو الاطار الثابت وأن (د) هو الذى يتحرك لليسار بسرعة (ع) ، وبالتالى من موقع الشخص (ب) تكون العلاقة :

سَ = م (س ـ ن ع)   (٢ ـ ٣)

وتفيد علامة السالب التي تسبق السرعة (ع) بأن الحركة فى اتجاه اليسار ٠

ويمكن الآن أن نرى كيف أن المعادلتين (٢ ـ ٢) و (٢ ـ ٣) تتماشيان مع مقتضى ثبات سرعة الضوء ، التي سنرمز لها بـ ض ، بالنسبة لـ (أ) و (ب) على حد سواء ٠ وقد نعبر عن ذلك بالقول بأن س = ض ن يستوجب أن تكون سَ = ض نَ ٠ وبالتعويض عن

ض ن = م نَ (ض + ع) ، ض نَ = م ن (ض ـ ع)

(س) و (س) فى المعادلتين (٢ـ٢) و (٢ـ٣) نحصل على :

ض ن = م ن (ض + ع) ، ض ن = م ن (ض ـ ع)

وبحذف ن و ن تكون النتيجة

م = ١ / √ (١ ـ ع٢/ض٢)   (٢ ـ ٤)

وبفحص هذه المعادلة نجد بالفعل أن المعامل (م) يقترب من الواحد كلما اقتربت قيمة (ع) من الصفر ٠ لاحظ أن س = ع ن فى المعادلة « النيوتونية » (٢ ـ ١) يعطى :

سَ = (ض ـ ع) ن

وهذا يعنى أن (ب) يرى ، وفقا لمفهوم نيوتن ، سرعة الضوء تساوى (ض ـ ع) بدلا من (ض) ٠

ولفهم معنى المعامل (م) والوقوف على أهميته بالنسبة لقياس الفواصل الزمنية بين (أ) و (ب) ، سنحذف أولا (س) من المعادلتين (٢ ـ ٢) و (٢ ـ ٣) لنحصل على :

$$\acute{ن} = م \left(\frac{ن - ع\, س}{ض^{2}} \right) \qquad (٢ - ٥)$$

وتربط هذه العلاقة بين الزمان (ن) الذى يقيسه (ب) والزمان (ن) الذى يقيسه (أ) عند النقطة (س)٠ ولما كانت (س) لا تتغير بالنسبة لأحداث ثابتة عند نقط محددة فى الاطار (د) ، فان الفاصل الزمنى بين أى حدثين (١) و (٢) مقاسا عند (ب) سيكون ($\acute{ن}_{٢} - \acute{ن}_{١}$) وسنرمز له ب ($\Delta \acute{ن}$) ، ويرتبط ($\Delta \acute{ن}$) بالفاصل المناظر له بالنسبة لـ (١) ، وهو ($\Delta ن = ن_{٢} - ن_{١}$) بالعلاقة الآتية :

$$\Delta \acute{ن} = م\, \Delta ن = \frac{\Delta ن}{\sqrt{(١ - ع^{2}/ض^{2})}} \qquad (٢ - ٦)$$

وتفيد المعادلة (٢ ـ ٦) بأن الفاصلين الزمنيين (Δ ن) و ($\Delta \acute{ن}$) ليسا سواء ما لم تكن (ع = صفر) ٠ وهذا يعنى أن الحركة النسبية بين (أ) و (ب) تؤدى الى اختلاف قياسهما للفاصل الزمنى بين حدثين ٠ وبدهى أن هـذا التأثير ، الكامن فى المعامل (م) ، يعد بالغ الضآلة فيما يتعلق بالسرعات العادية فى حياتنا اليومية ، وهى سرعات تقل بدرجة فائقة عن سرعة الضوء (ض) ولذلك نجد قيمة (ع/ض) بالغة الضآلة ، لو اعتبرنا حالة صاروخ ينطلق بسرعة خمسين ألف كم / ساعة فان ع/ض = ٠٫٠٠٠٠٥ فقط وبالتالى م = ١٫٠٠٠٠٠٠٠٠١ ٠ بمعنى آخر ، لو أن شخصا يركب صاروخا يبتعد عن الأرض بسرعة ٥٠ الف كم/ساعة فكل ما سيلحظه من زيادة فى الفواصـــل الزمنية على الأرض لن تزيد نسبته على ١/عشرة ملايين جزء من الـ ١٪ !

وثمة طريقة أخرى لبيان هذه الظاهرة ، وتتمثل فى قيـاس معدل تقدم الوقت فى الساعات ٠ فمن شان ساعة محمولة فى صاروخ ان تجرى بمعدل أبطأ من ساعة مماثلة موجودة على الأرض ٠ وتجدر الاشارة الى أن التاثير فى هذه الحالة انما هو بفعل المكان والزمان فقط ولا دخل فيه مطلقا لماكينة الساعة ٠ فلا ينبغى لشخص يركب صاروخا أن يظن ان ساعة يده قد اصابها عطل أو تعمل بطريقة غير عادية ٠ ولا جدال فى أن قياس الفواصل الزمنية ، سواء بالساعة ، أو بالعقل ، أو باية وسيلة أخرى ، من شانه أن يكون متوافقا وبلا فوارق ، فنحن نعلم أنه يجرى فى اطار حقيقة واقعة تتمثل فى أن الأرض ذاتها تتحرك بسرعة كبيرة بالنسبة للمجرات البعيدة ولكن دون أن تحدث أى تاثيرات زمنية غريبة ٠ وتتسم نظرية النسبية ، التى تفيد بتباطؤ معدل تقدم الوقت ، بانها مبنية على

نسبية الحركة المنتظمة ، ومن ثم فلا مجال لأن نقول بأن نظاما ما فى حالة حركة أم لا استنادا الى أية مشاهدة « داخلية » فى الساعة أو أى شيء آخر ـ وقد يفيد أن نتذكر معا أنه ليس ثمة حركة منتظمة مطلقة ٠ ولا يلاحظ تأثير الساعة ، أو ما يعرف عادة باسم تأثير التمدد الزمنى ، الا اذا نظر المرء الى منظومات أخرى هو يتحرك بالنسبة لها ٠ ومن هذا المنطلق فان راكب الصاروخ يرى الوقت على الأرض يجرى ببطء ، ولبس فى ساعة يده هو ، وبالمثل ـ ونتيجة التناظر الذى تتصف به الحركة النسبية ـ فان المراقب الواقف على الأرض سوف يرى الساعة المحمولة فى الصاروخ تجرى ببطء بالنسبة للساعة التى يحملها هو ٠ ولو رجعنا الى المعادلة (٢ ـ ٦) فسوف نلاحظ انه عندما تقترب قيمة السرعة (ع) من سرعة الضوء (ض) ، فان قيمة المعامل (م) تزيد بدرجة لا نهائية بحيث يبدو الفاصل الزمنى (△ن) ممتدا بشكل لانهائيبالنسبة للمراقب المتحرك بسرعة (ع) ٠

وفى الحالة القصوى عندما تكون (ع = ض) فان (م) = ما لا نهاية ، أى أنه لو تحرك شخص بسرعة تساوى سرعة الضوء فسوف يرى الوقت متوقفا تماما ٠ ولذلك يقال « أحيانا » ان الشعاع الضوئى لا يستغرق أى وقت مهما بلغ طول المسافة التى يتحركها ٠

٢ ـ ٣ « **التناقض التوأمى** »

ويشكل التناقض الظاهرى المتمثل فى أن كل ساعة تعمل ببطء بالنسبة للأخرى ، بعض اللبس أحيانا بالنسبة للقارئ غير المتمرس فى هذا المجال ٠ ولا ينبغى أن يعتقد أحد أن التمدد الزمنى هو ضرب من الوهم يعزى الى انتشار الاشارات الضوئية أو أى شيء آخر ٠ ليست المسألة أن كل مراقب « يرى » الساعة الأخرى تعمل ببطء ، **انما هى بالفعل تعمل ببطء** ـ انها حقيقة علمية ٠ وقد نلجأ الى طريقة مثيرة لتقريب ذلك الى الأذهان ، وتتمثل فى تجربة يشترك فيها توأمان ينطلق أحدهما من الأرض فى صاروخ يجرى بسرعة تقترب من سرعة الضوء ، متجها الى أقرب نجم (فى برج قنطورس) ثم يعود بينما يمكث الآخر على الأرض ٠ ويقدر زمن هذه الرحلة ، وفقا لقياس التوأم الذى بقى على الأرض ، ببضع سنوات ٠ أما بالنسبة للتوأم الذى قام بالرحلة فان هذا الزمن سيكون قصيرا بدرجة قد لا تكفيه لمجرد الاستمتاع بأنه يتحرك بسرعة تقترب من سرعة الضوء ٠

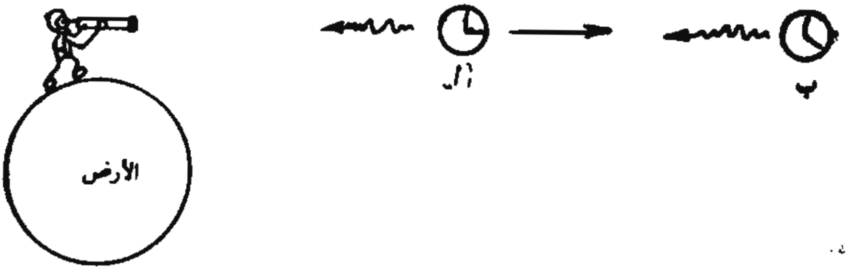
وهذا يعني ان التوأم المسافر سيعود الى الأرض أصغر سنا ببضع سنوات مقارنة بشقيقه الذى مكث على الأرض ، لقد قام برحلة قصيرة فى زمنها مقابل فترة مدتها بضع سنين على الأرض ٠

وكم هو مبهر أن تفتح نظرية النسبية المجال للرحلات الزمنية ! ٠ ولو توافرت الموارد اللازمة لصنع صواريخ تتحرك بسرعة تقترب من سرعة الضوء ، فسيكون بوسع أى شخص أن ينطلق بهذه الطريقة الى ما لانهاية صوب المستقبل ٠ وقد نقول من قبيل التسلية ان الناس الذين يتوجهون الى أعمالهم يوميا بالقطار يسافرون (على مدى مجموع حياتهم) ما مقداره ١٠^-٧ ثانية فى مستقبل نظرائهم من غير المنتقلين ، ويعزى ذلك الى مجرد الزيادة فى السرعة فى مشاوير الذهاب والعودة ٠ ولكن تجدر الاشارة الى أنه لا يمكن استخدام ظاهرة تأثير التمدد الزمنى للعودة بعجلة الزمان الى الوراء ، فهذه العجلة لا تتحرك الا للأمام ٠

وقد يشعر القارىء عند هذه المرحلة أنه أمام لغز عويص ، فكيف يتأتى أن يرى التوأم المسافر الساعة تعمل ببطء على الأرض ثم يعود من رحلته ليجد نظيره أكبر منه سنا (بدلا من أن يكون أصغر سنا) ؟ وكم شكل هذا التناقض الظاهرى لغزا أمام الطلاب الدارسين لنظرية النسبية حتى انه عرف باسم « التناقض التوأمى » ٠ غير أنه ليس هناك فى الحقيقة أى تناقض على الاطلاق ، ويتضح ذلك لو فكرنا بدقة فيما يراه المراقبان فى الواقع ٠ فمن شأن أى مراقبين أن يرى كل منهما الآخر عن طريق اشارات ضوئية من والى ٠ ولو كانت المسافة بينهما بعيدة فسوف تكون هناك مدة تأخير ملموسة فى استقبال هذه الاشارات بسبب الوقت الذى سيستغرقه الضوء ليقطع هذه المسافة ٠ ولتثبيت هذه الفكرة فلنلاحظ أن الضوء يستغرق نحو ثانية ليصل من القمر الى الأرض ونحو ثمانى دقائق ونصف ليصل من الشمس ٠ أما لو كان قادما من أقرب نجم الى الأرض فانه يستغرق أربع سنوات أو يزيد قليلا ٠ ويبعد هذا النجم عن الأرض مسافة تقدر بـ ٤٠ مليون مليون كم ، غير أنه من الأنسب وصف هذه المسافة بأربع سنوات ضوئية ٠ ويعنى هذا التأخير أننا حين ننظر الى هذا النجم فاننا لا نراه كما هو الآن ، ولكن كما كان عليه منذ أربع

سنوات • ولو تخيلنا وجود سكان على كوكب يدور حول هذا النجم فسوف يرون حاليا الشمس على نحو ما كانت عليه قبل أربع سنوات (لاحظ اننا اعتبرنا الحاضر واحدا فى الأرض وفى أقرب نجم ، وهذا افتراض مشكوك فى صحته وفقا لنسبية التزامن ، ولكن نظرا للبطء النسبى الذى تتسم به سرعة هذين الجرمين قياسا بسرعة الضوء يمكن اهمال الفوارق الناجمة عن هذا الافتراض) يتجسد اذن تأثير المدة المحددة التى تستغرقها رحلة الضوء فى صورة تأخير فى التزامن بين التوقيتات فى المسافات البعيدة • غير أن معدل تغير الوقت لا يتأثر اذا كانت آلات ضبط الوقت مستقرة (نسبيا) فى هكانها •

وقد نفترض الآن أن كلا من المراقبين يتراجع للخلف فتطول المسافة بينهما تدريجيا ، وبالتالى تزداد مدة التأخير • ويؤدى تغير التزامن الى أن يبدو الوقت متباطئا • ويمكن مقارنة هذا التأثير الجديد بتأثير التمدد الزمنى ولكن مع وجود بعض التباين بينهما • ومن أوجه التباين بين التأثيرين أن المراقبين لو كانا يقتربان من بعضهما بدلا من أن يتباعدا فسوف يظهر هذا التأثير الجديد معكوسا حيث سيبدو معدل تقدم الوقت متزايدا • علاوة على ذلك فان تأثير التمدد الزمنى يعد نتيجة بحتة لنظرية النسبية الخاصة ، أما التأثير الآخر فهو يحدث مع كافة أنواع الحركة الموجية • فمن المألوف فى حالة الموجات الصوتية مثلا أن نسمع انخفاضا حادا فى صوت صفارة القطار – أو صوت محرك السيارة – مع مرور المركبة من أمامنا وابتعادها عنا • ويطلق على هذه الظاهرة فى المعتاد اسم « تأثير دوبلر » نسبة الى العالم النمساوى كريستيان دوبلر **Christian Doppler** (١٨٠٣ – ١٨٥٣) • ومن شان هذا التأثير أن يغير معدل الذبذبة الموجية ، أو ما يسمى « بالتردد » ، (وقد يكون من الملائم النظر الى الذبذبة المنتظمة للموجات كأنها دقات الساعة) • وفى حالة الموجات الضوئية ينعكس تناقص التردد الناجم عن ابتعاد المصدر الضوئى فى صورة تغير فى لون هذا الضوء حيث يتجه اللون نحو النهاية الحمراء فى التدرج الطيفى ، ومن هذا المنطلق يعرف أحيانا تأثير دوبلر فى علم البصريات باسم « الزحزحة الحمراء » وهو يمثل الأسلوب الذى يلجأ علماء الفلك الى استخدامه فى متابعة حركة الأجرام البعيدة •



شكل ٢ ــ ٥

الشكل (٢ ــ ٥) تأثير دوبلر هب ان هناك ساعة كبيرة تبتعد عن الأرض ، وانها كانت تدق الثالثة عند النقطة (ا) على بعد مليون كم من الأرض · ان المراقب الواقف على الأرض سيرى هذا الحدث (اى الساعة الثالثة) بعد مضى نحو خمس ثوان ، وهى المدة التى تستغرقها الاشارة الضوئية التى تحمل هذه المعلومات الى الأرض · وبعد مضى ساعة من الزمن ستكون الآلة قد تباعدت الى النقطة (ب) التى تقع على مسافة مليونى كم · ولن يرى المراقب عقرب الساعة يشير الى الرابعة الا بعد مضى عشر ثوان لأن المسافة اصبحت الآن على ضعف بعدها الأول · ان الأمر سيبدو للمراقب كما لو كان الوقت يمر بطيئا · فلقد طال الوقت لمدة خمس ثوان فى كل ساعة · ولو كانت آلة ضبط الوقت مقربة فسوف تقل كل ساعة بمقدار خمس ثوان ·

والواقع ان الرصد المباشر بين الأطر المرجعية المتحركة يتضمن التأثيرين معا ، تأثير دوبلر والتمدد الزمنى · غير أنه يمكن التخلص من تأثير دوبلر بالعمل على أن تكون الحركة عرضية فقط ، أى عمودية على اتجاه خط النظر لا موازية له · وقد يبعث استخدام كلمة « يرى المراقب » الواردة فى معظم المناقشات المتعلقة بالتمدد الزمنى فيما بين الأطر المرجعية الى الايحاء بأن الأمر يقتصر على الحركة العرضية ، وبالتالى يسقط تأثير دوبلر من الحسبان · أما فى رحلة الذهاب والاياب فى تجربة التوأم فقد كان التأثيران موجودين معا ·

وقد يكون من المفيد أن نتناول بالتفصيل تحليل ما يراه كل توأم بالفعل خلال تجربة رحلة الذهاب والعودة على أساس وجود التأثيرين معا · ولكى تكون المناقشة محددة ، سنفترض أن التوأم (أ) ينطلق صوب نجم قريب ، يقع على بعد عشر سنوات ضوئية ، بسرعة منتظمة ع = ٠ر٩ ض (أى ٩٠٪ من سرعة الضوء) ، وبعد وصوله الى هدفه يعود مباشرة ، بالسرعة ذاتها · وسوف نعتبر أن المدة اللازمة فى كل من بداية الرحلة ونهايتها للوصول الى هذه السرعة الخيالية والتوقف منها مدة وجيزة بحيث يمكن اهمالها · وفى أثناء الرحلة يمكث التوأم (ب) على الأرض

يراقب (أ) ، وهو منطلق بصاروخه المجهز بساعة كبيرة ، فى رحلة الذهاب أولا ثم وهو عائد فى رحلة الاياب ٠

وتفيد المعادلة (٢ ــ ٦) أن كلا من التوأمين سيرى ساعة الآخر تجرى بمعدل أبطأ من المعتاد بنسبة ٣ر٢ بدون تأثير دوبلر ٠ وهذا يعنى أن التوأم (أ) سيقطع مسافة السنين الضوئية العشر بسرعة (٩ر٠ض) فى زمن قدره ١ر١١ سنة وفقا لقياس (ب) بساعته الأرضية ٠ ولكن بسبب التمدد الزمنى سيرصد (أ) مدة الرحلة ذاتها بما مقداره ٨٤ر٤ سنة وفقا لساعة الصاروخ ، غير أن (ب) لن يعرف بوصول (أ) الى النجم القريب الا بعد مضى عشر سنوات أخرى وهى المدة التى ستستغرقها الاشارة الضوئية المسجلة لهذا الحدث لقطع مسافة السنين الضوئية العشر التى تفصل بين النجم والأرض ٠ وبالتالى سيرى (ب) فى الواقع رحلة الذهاب ل (أ) تستغرق ١ر٢١ سنة ٠ ولما كانت مدة الرحلة وفقا لساعة الصاروخ تساوى ٨٤ر٤ سنة ، فسيرى (ب) ساعة (أ) تتقدم بمعدل أبطأ من ساعته بنسبة ٣٦ر٤ منها ٣ر٢ بسبب تأثير التمدد الزمنى والباقى نتيجة تأثير دوبلر ٠

ولتحديد ما يراه (أ) من (ب) وساعته خلال رحلة الذهاب ينبغى أن نتذكر أن نظرية النسبية الخاصة تقتضى بوجود تناظر تام فى كل ما يرصده مراقبان منتظمان فى حركتيهما ، وبالتالى سيكون الوضع كما لو كان (أ) هو الساكن و (ب) يبتعد بسرعة ٩ر٠ض ، ويعنى ذلك أن (أ) سيرى الأحداث على الأرض تجرى بمعدل أبطأ بنسبة ٣٦ر٤ (ومرة أخرى منها ٣ر٢ ناجمة عن التمدد الزمنى) ٠ ولما كانت رحلة الذهاب ستستغرق ٨٤ر٤ سنة وفقا لساعة (أ) ، (لاحظ أنه ينبغى أن يتفق (أ) و (ب) بشأن الوقت الذى ستسجله ساعة الصاروخ عند وصول (أ) الى النجم) فانه لو نظر الى الأرض لحظة وصوله الى النجم فانه سيرى الأحداث قد جرت فى مدة تساوى ٨٤ر٤/٣٦ر٤ = ١ر١ سنة فقط ٠

أما فيما يتعلق برحلة العودة فسوف تكون أيضا سرعة اقتراب التوأمين من بعضهما (٩ر٠ض) ٠ ورغم أن معدل تقدم الوقت سيكون كذلك أبطأ من المعتاد بنفس نسبة ال ٣ر٢ مثل رحلة الذهاب ، فان تأثير دوبلر سيكون معكوسا ، بحيث ان رحلة العودة مقاسة بساعة (ب) لن تستغرق سوى ١ر١ سنة ! كيف ذلك ؟ ان الرحلة فى مجملها ذهابا وايابا ستستغرق فى الواقع ١ر١١ × ٢ = ٢ر٢٢ سنة ، غير أن (ب) لن يعلم بوصول (أ) الى النجم ، أى لن يعلم بانتهاء رحلة الذهاب ، وبداية رحلة العودة ، الا بعد مضى ١ر٢١ سنة ، وبالتالى سيفاجأ بعد ١ر١ سنة فقط من علمه بوصول (أ) الى النجم ، بعودته الى الأرض ٠ وبالنسبة

ل (أ) ستستغرق رحلة العودة نفس مدة رحلة الذهاب ، أى ٤٫٨٤ سنة وفقا لساعة الصاروخ ، وبالتالى سيرى (ب) هذه المدة وقد ضغطت الى ١٫١ سنة أرضية ، أى أن الأحداث فى الصاروخ خلال رحلة العودة ستبدو ل (ب) كما لو كانت أسرع بمعدل ٤٫٣٦ ٠ وفيما يتعلق ب (أ) ، الذى كان قد رأى الأحداث على الأرض خلال رحلة الذهاب قد جرت فى ١٫١ سنة فقط ، فانه سيرى الـ ٢١٫١ سنة الباقية مضغوطة فى ٤٫٨٤ سنة هى مدة رحلة العودة مقاسة بساعة الصاروخ ٠ وذلك يعنى أن (أ) سيرى الأحداث على الأرض وقد أسرعت بمعدل ٤٫٣٦ ٠ وكما نرى فحتى تأثير الاسراع يتسم بالتناظر التام بين (أ) و (ب) ٠

ونخلص من ذلك بأن (أ) عاد الى الأرض بعد ٩٫٧ سنة بساعة الصاروخ ليجد ٢٢٫٢ سنة قد مضت على الأرض ، وأن توأم (ب)أصبح أكبر منه سنا بفارق ١٢٫٥ سنة ٠ لاحظ أن كل المشاهدات والأحداث كانت متماشية تماما بين (أ) و (ب) فى كافة الأوقات ، وذلك يعنى أنه ليست هناك تناقضات أو مفارقات ، وأن تأثير التمدد الزمنى هو تأثير حقيقى تماما وليس مجرد مسألة ما يرى بالاشارات الضوئية ٠ وقد نتساءل : لماذا (أ) هو الذى يقل معدل تقدمه فى السن دون (ب) ؟ يرجع السبب فى ذلك الى أن (أ) هو الذى يغير اطاره المرجعى بأن يتعاجل حتى تصل سرعته الى (٠٫٩ض) ثم يعكس سرعته بمجرد وصوله الى النجم ٠ وهكذا ، فرغم أن التأثيرين الزمنيين كانا متناظرين تماما بين (أ) و (ب) طوال الوقت الذى اتسمت فيه السرعة بالانتظام ، لم تكن الرحلة فى مجموعها متناظرة بسبب فترتى تغيير السرعة فى بداية رحلة الذهاب ونهاية رحلة العودة ٠ وقد نذكر أن العجلة تعد قيمة مطلقة وفقا لنظرية النسبية الخاصة ، ويمكن بالتأكيد أن يشعر بها (أ) نتيجة ما يتعرض له من اندفاع للخلف أو للأمام داخل صاروخه بينما لا يتعرض (ب) لمثل هذه القوة وهو يقف على الأرض ٠ أما الانعكاس المفاجىء فى اتجاه سرعة (أ) عقب بلوغه النجم فانه يعنى أنه بالرغم من أن معدل تقدم الوقت يقل ويتزايد بشكل متساو وبقيمة واحدة تساوى ٤٫٣٦ بالنسبة ل (أ) و (ب) على حد سواء ، فان (أ) يرى أن فترة المعدل الأسرع فى تقدم الوقت تمتد بطول رحلة العودة بينما لا تمتد هذه الفترة بالنسبة ل (ب) الا لمدة ١٫١ سنة من مجموع زمن الرحلة البالغ ٢٢٫٢ سنة ٠ ويمكن للقارىء الذى يجد صعوبة فى متابعة المناقشة السالفة أن يستعين بالجدول (٢ ــ ١) ٠

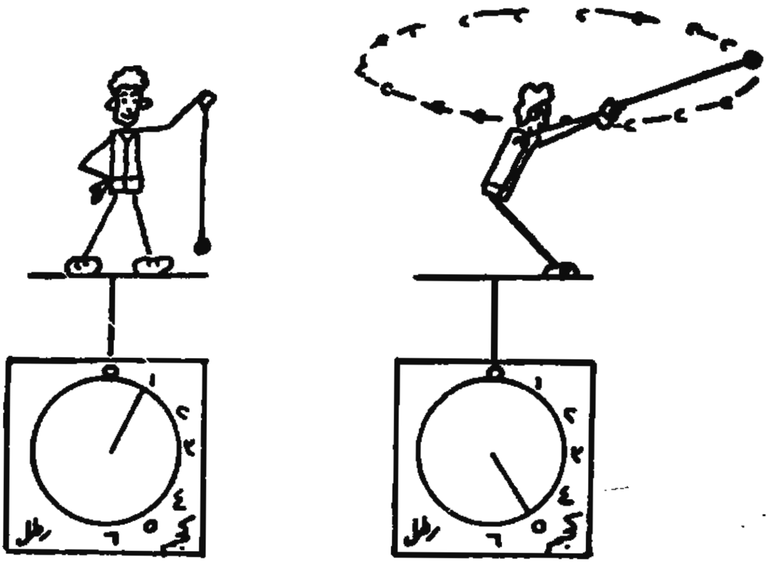
	رحلة الذهاب		رحلة العودة	
	ساعة الأرض	ساعة الصاروخ	ساعة الأرض	ساعة الصاروخ
(١)	١ر١	٨٤ر٤	٢١ر١	٨٤ر
(ب)	٢١ر١	٨٤ز٤	١ر١	٨٤ر٤

الجدول (٢ ـ ١) · تحليل لغز « التناقض التوامى » : يعرض الجدول الأزمنة التى استغرقتها رحلة الذهاب والعودة مقاسة بساعة الصاروخ وساعة الأرض بالنسبة لكل من (أ) و (ب) · لقد استغرقت الرحلة فى مجموعها ذهابا وعودة ٢ر٢٢ سنة بساعة الأرض و ٧ر٩ سنة بساعة الصاروخ ·

ويمكن استخدام تجربة رحلة التوأم هذه فى شرح نتيجة أخرى مهمة لنظرية النسبية الخاصة · فالتوأم (أ) ينطلق بسرعة (٩ر٠ض) بالنسبة للأرض ولكنه يقطع المسافة من الأرض الى النجم فى مدة ٨٤ر٤ سنة صاروخية فقط ، وهذا يعنى أن هذه المسافة تبدو ل (أ) تساوى ٩ر٠ × ٨٤ر٤ = ٣٦ر٤ سنة ضوئية فقط بدلا من عشر سنوات ضوئية على نحو ما يقيسها (ب) ، أى أن المسافة الفضائية قد تقلصت كذلك بنفس المعامل البالغ ٣٦ر٤ تماما مثل الفاصل الزمنى · ويعرف هذا الانكماش باسم تقلص لورينتز ـ فيتزجيرالد نسبة الى العالمين الهولندى هندريك لورينتز (Hendrick Lorentz) (١٨٥٣ ـ ١٩٢٨) والايرلندى جورج فيتزجيرالد (George Fitzgerald) (١٨٥١ ـ ١٩٠١) · وتتسم أيضا هذه الظاهرة بالتناظر بين المراقبين منتظمى الحركة (ومرة أخرى يعزى السبب فى أن (أ) يرى المسافة أقل مما يراها (ب) الى أن النجم يعتبر فى حالة سكون بالنسبة للأرض وليس بالنسبة للصاروخ) ، وهى أيضا تفيد بأن المراقب المتحرك بسرعة عالية يبدو كأنه يذوب أو يسحق فى اتجاه التحرك · ولا ينبغى أن نتصور هذا السحق ـ شأنه فى ذلك شأن التمدد الزمنى ـ على أنه قوة تؤثر على المراقب ، ولكنه مجرد خاصية يتسم بها الفضاء ذاته · فالمراقب المسافر لا يشعر بأى شىء غير عادى ولا يرى شيئا غير مألوف فى نفسه أو منظومته ولكنه يرى بدلا من ذلك العالم الآخر يتحرك فى عكس الاتجاه ، ويبدو له هذا العالم كأنه هو الذى يتعرض للسحق · ولا شك أنه كلما اقتربت السرعة (ع) من (ض) فقدت الأشياء كل معالمها وأصبحت مسطحة تماما ·

٢ ـ ٤ اسرع من الضـــوء ؟

وقد يتساءل المرء ماذا يحدث لو أن جسما ما تعرض لمعاجلة اوصلته الى سرعة أكبر من سرعة الضوء · وقد نتوقع انه اذا وصلت سرعة الجسم الى (ع = ض) فمن شأن الانكماش غير المحدود لطوله والتمدد الزمنى الذى سينجم عن ذلك أن يضعا حدا لسرعته بحيث لا تتجاوز سرعة الضوء · وهذه هى الحقيقة بالفعل · وتتضح طبيعة هذا الحد اذا طبقت نظرية النسبية الخاصة على الأجسام المتحركة بطاقة كبيرة · فلقد تبين أنه كلما اقتربت السرعة من (ض) زادت كمية الطاقة اللازمة لزيادة هذه السرعة · ويتطلب الأمر قدرا غير محدود من الطاقة لبلوغ سرعة الضوء · وتتجسد هذه الطاقة المتضاخمة فى صورة الزيادة التدريجية فى القصور الذاتى للجسم كلما علت سرعته ، وبالتالى تصاعدت صعوبة تحريكه · وفى حالة الصاروخ ، فبدلا من أن يتحول الوقود الى قوة دافعة فانه يتحول بشكل مضطرد الى كتلة محمولة مضافة ، ومن ثم يرتفع وزن الصاروخ وتزداد صعوبة تحريكه ·



الشكل (٢ ـ ٦) الكتلة المتحركة تزداد ثقلا · مع اقتراب سرعة الكتلة من سرعة الضوء يزداد تدريجيا ثقل الكتلة الدوارة · ولا تكفى كل طاقة العـالم ، لو توفرت ، لتدويرها بسرعة الضوء · وهذه حقيقة معروفة جيدا فى التجـارب المعملية التى تجرى على الجسيمات دون الذرية فى جهاز يعرف باسم « السيكلوترون » · انه يظهر بالفعل أن الجسيمات المتحركة بسرعات بالغـة تكتسب ثقلا رهيبا ·

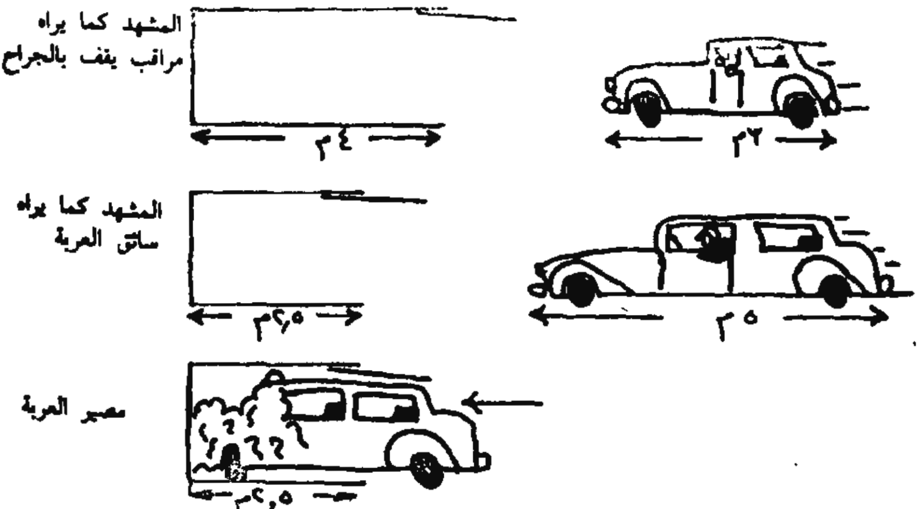
وقد يحاول المرء بحيل بارعة ، التوصل الى سرعة تتجاوز سرعة الضوء ، كأن يتصور صاروخين كل منهما منطلق بسرعة (ع = ٩ر٠ض) بالنسبة للأرض ولكنهما يتحركان في اتجاهين متضادين بحيث تبدو السرعة النسبية بينهما تساوى ٨ر١ ض · ولكن بالقاء نظرة سريعة الى المعادلتين (٢ ـ ٢) و (٢ ـ ٥) سنكتشف أن الصـــورة مختلفة · فاذا كان (٩ر٠) زائد (٩ر٠) فى علم الحساب يساوى (٨ر١) فان النتيجـة وفقا لنظرية النسبية تساوى (٩٩٥ر٠) ! وذلك يعنى أن التمدد الزمنى والانكماش الطولى الاضافيين سيكون من شأنهما أن تبدو السرعة النسبية التى يقيسها كل صاروخ تساوى (٩٩٥ر٠ض) بدلا من (٨ر١ض) · بل انه لو انطلقت سلسلة من الصواريخ الصغيرة المضادة فى اتجاهها ، الصاروخ من بطن الصاروخ بسرعة (٩ر٠ض) ، فلن تتجاوز محصلة السرعات النسبية مطلقا سرعة الضوء ·

ولهذه الأسباب يقال دائما انه ليست هناك سرعة أكبر من سرعة الضوء · والواقع أن ذلك ليس صحيحا ، فالأجسام المادية فقط هى التى لا يمكن أن تتجاوز « الحد الضوئى » فى سرعتها · وليس ثمة أسباب معروفة تبعث على استبعاد وجود أجسام فوق ضوئية تتصف على الدوام بسرعة لا تقل عن سرعة الضوء · ولا شك أن العديد من الفيزيائيين قد سعوا بهمة خلال العقد الماضى لاكتشاف مثل هذه الأجسام (التى ستكون على هيئة جسيمات ميكروسكوبية) ، بل انهم قد أطلقوا عليها اسما هو « التكيونات » رغم أنهم لم يتوصلوا بعد الى اكتشاف أى نوع منها · ولو حدث أن اكتشفت مثل هذه الجسيمات فليس من المتوقع أن يكون تفاعلها مع المادة العادية خاضعا لأية سيطرة والا لأمكن استخدامها فى نقل الرسائل ، وذلك من شأنه أن يوجد تناقضا عجيبا ، حيث انه يعنى أن التكيونات قادرة على الرجوع بعجلة الزمان الى الوراء ، ومن ثم يبعث استخدامها كجهاز اشارة على تيسير الاتصال بالماضى · وقد يصبح بالامكان فى هذه الحالة صنع جهاز مفخخ يمكن أن يدمر نفسه باشارة مشفرة مرسلة الى الماضى فى وقت سابق على صنعه بما يلغى أساسا احتمال ارسال الاشارة ··· أى تناقض هذا !!

ولعل أفضل تعبير عن حد السرعة الضوئية يتجسد فى القول بأنه ما من تأثير مادى يمكن أن يسبق الضوء فى سرعته · ومن نتائج هذه الحقيقة استحالة صنع جسم « صلب » بمعنى الكلمة · وقد نستعين على فهم ذلك « بمفارقة » ساخرة تتمثل فى عالم فيزياء (متقد الذكاء) لديه سيارة طولها خمسة أمتار وجراج لا يزيد طوله على أربعة أمتار · ان ذكاءه يصور له أنه لو قاد العربة بسرعة كافية فان تأثير الانكماش الطولى

المذكور آنفا سيتيح انقاص طول السيارة الى ما دون أربعة أمطار ، فيتمكن بذلك من وضعها فى الجراج • فيركب الرجل العربة ويدور دورتين حول المضمار حتى تصل سرعته الى (٨ر٠ض) ثم ينجه بهذه السرعة صـوب الجراج • ولو كان هناك مراقب يقف فى الجراج فانه سيرى من هذا الاطار المرجعى ، طول السيارة يقل عن ٤ أمتار ، وبالتالى ما أن تدخل العربة الجراج سيغلق الباب الآلى مطمئنا الى أنه قد احتواها !

أما بالنسبة للسائق فتبدو الأمور مختلفة شيئا ما • فبما انه موجود داخل السيارة ، فهو لا يلاحظ شيئا غير مألوف بشأن طولها ، ولكنه يكتشف فجأة أن الجراج يبدو متقلصا على غير العادة ـ انه متقلص فى الواقع نتيجة التأثير الانكماشى ذاته ، فيبـدو كأن طـوله قد نقص الى نحو مترين ونصف المتر • ويكتشف العالم الذكى خطأه الفاضح الفادح



شكل ٢ ـ ٧

الشكل (٢ ـ ٧) تأثير الإنكماش الطولى • يرى الواقف فى الجراج ان طول السيارة البالغ خمسة امتار ينكمش الى ثلاثة امتار فقط اذا انطلقت بسرعة = ٨ر٠ ض ، وبالتالى سيسعها بسهولة الجراج البالغ طوله ٤ امتار • اما بالنسبة للسائق فان الجراج هو الذى يبدو متقلصا (الى نحو ٥ر٢ متر) وبالتالى لن يحتوى العربة • والنتيجة واضحة فى الصورة السفلى • فسوف تستمر مؤخرة العربة تتقدم حتى تدرك ان مقدمتها قد توقفت ، فليس من شان الرسالة ان تنتقل باسرع من الضـوء فتكون النتيجة ان تسحق السيارة وتنضغط داخل حيز المترين والنصف • وكلتا النظريتين سليمة ، ومهما كان شاسيه السيارة صلبا ، ما من مادة فى الكون يمكنها ان تتحمل مثل هذه الصدمة الساحقة •

متأخرا : فلا يمكن أن يسع جراج طوله متران ونصف المتر سيارة طولها خمسة أمتار • فأى النظرتين صحيحة : نظرة المراقب الذى يرى السيارة منكمشة يسعها الجراج بسهولة ، أم نظرة السائق الذى يرى سيارته الطويلة لا يسعها الجراج المتقلص ؟

وكما اعتدنا في عالم النسبية ، كلا المشهدين صحيح ، وتتوافق الروايتان لو تدارسنا ما يحدث للعربة الطويلة عندما تصل الى نهاية الجراج القصير • من الواضح أن السيارة ستصطدم بشكل ساحق بجدار الجراج (الذى ينبغي أن يكون بالغ المتانة) • غير أن هذا الحدث المنذر العنيف لن يوقف السيارة كمثل ما يحدث في الأحوال العادية • فالصدمة قد حدثت بسرعة تقترب من سرعة الضوء • وأوقف الحائط مقدمة السيارة بغتة ولكن مؤخرة العربة لن تعرف ذلك الا لو انتقلت الموجة التصادمية بطول السيارة الى المؤخرة • وبما أنه لا يمكن أن ينتقل أى تأثير ، بما فى ذلك الموجة التصادمية ، بسرعة أكبر من سرعة الضوء ، فسيكون لزاما أن تنتظر مؤخرة السيارة لمدة ١ر٧ × ١٠ ^ - ٨ ثانية على الأقل (وفقا لساعة السيارة) لتعلم بوجود الحائط ، وخلال هذه الفترة ستكون قد قطعت بسرعة (٨ر٠ض) مسافة قدرها نحو أربعة أمتار • ونتيجة لذلك ستنضغط العربة لطول يناهز مترا واحدا وبالطبع سيسعها الجراج بطوله البالغ مترين ونصف المتر !!

وتتمثل العظة المستوحاة من هذه القصة في أنه مهما كانت سيارتك صلبة ، ومهما كان معدنها قويا ومتينا فهناك دائما احتمال أن تتعرض لقدر من الانضغاط الذى يصل الى السحق عند السرعات القريبة من سرعة الضوء • وسوف نشرح فى الباب القادم كيف تتقلص نجوم بأكملها حتى تتلاشى ، تجسيدا لاحدى نتائج هذا السحق الناجم عن تطبيق نظرية النسبية •

٢ ـ ٥ النموذج الجديد رباعى البعد للمكان والزمان

ولقد كان من شأن الأفكار المتعلقة بالتمدد الزمنى والانكماش الطولى والتى تبدو منافية للطبيعة والمنطق أن أثارت للوهلة الأولى لدى بعض الناس ردود أفعال نابعة من المعارضة الغريزية • فلقد جاءت ثورة النسبية فزلزلت بشدة المفاهيم الراسخة فى أعماق وعينا ومداركنا بشأن المكان والزمان ، فكانت النتيجة أن اتجه بعض الناس لا سيما من العلمانيين ، الى التشكك فى كل شىء •

وردا على هذا الاتجاه ، ينبغى فى المقام الأول الاشارة الى أن نظرية النسبية الخاصة لم تكن بجميع المقاييس شيئا جديدا تماما • ولقد نشر أينشتين مقالته الأولى فى هذا الصدد فى عام ١٩٠٥ ، ولم تكد تمر بضعة أعوام حتى تقبل المجتمع العلمى هذه النظرية ، التى صارت منذ ذلك الحين واحدة من الركائز الأساسية للفيزياء الحديثة ، بما تشمله من مفاهيم تتجاوز بكثير الأفكار البالية المتعلقة بقطارات السكة الحديد السريعة أو الصواريخ • ولقد تم فى الواقع التحقق بشكل مباشر من تأثير التمدد الزمنى سواء على الصعيد دون الذرى أو على المستوى المرئى بواسطة الأجسام المحلقة حول العالم • ولكن كان هناك ما هو أهم من ذلك ، ونعنى أنه كان يتعين أن تصطبغ كل أفرع الفيزياء بصبغة المبادىء الجديدة المنبثقة عن نظرية النسبية • فينبغى على سبيل المثال أن تتماشى نظرية الجاذبية والقوانين التى تحكم بنية الذرة والجسيمات دون الذرية مع أفكار اينشتين • ولما تحقق ذلك ، تبين أن العديد من النتائج الجديدة تتفق مع التجارب العملية ، ومنها على سبيل المثال انشطار بعض الخطوط الطيفية الذرية ، وهو الأمر الذى بدا للوهلة الأولى أنه ليس له علاقة بالنسبية •

ولقد كانت اعادة صياغة قوانين الميكانيكا لتتفق مع مبدأ النسبية واحدا من التطبيقات التى أكدت بشكل باهر صحة النظرية • وقد ذكرنا فى القسم (٢ ـ ٤) أن الحد الضوئى ينجم عن تحول الطاقة الى كتلة لمنع أى جسم من بلوغ المستحيل ، المتمثل فى تجاوز سرعة الضوء • ويمكن لهذا التحول أن يجرى بشكل معكوس • وتعبر عن هذا التأثير تلك المعادلة التى ربما كانت أشهر قانون وضعه أينشتين :

الطاقة ق = ك ض^{٢} (٢ ـ ٧)

وتوضح هذه المعادلة انه يمكن الحصول على قدر ضخم من الطاقة من كم ضئيل من الكتلة لأن الجانب الأيسر من المعادلة يحتوى على مربع سرعة الضوء ، وهو رقم بالغ • وهكذا فمن شأن كتلة من المادة قدرها جرام واحد أن تولد نحو ٣٠ مليون كيلوات ساعة ، وهى كمية من الطاقة تفى باحتياجات منزل متوسط لبضعة أعوام • ويشكل تحول المادة الى طاقة تفسيرا لمصدر طاقة الشمس (الذى كان يعد لغزا فيما مضى) ، كما أنه يحدث بشكل أكثر وضوحا فى عملية انفجار القنابل الذرية •

وعلاوة على ما اكتسبته نظرية النسبية الخاصة من تأكيدات واثباتات تجريبية مشهودة ، تكتسى هذه النظرية بصبغة جمالية بما تضفيه من تناظر وتوحيد على ظواهر الفيزياء النظرية • فكم بدت العديد من المعادلات الرياضية أكثر « قبولا » بعد أن أعيدت صياغتها لتتماشى مع

المبادىء الجديدة ! • ويعزى ذلك ، فى قدر كبير منه الى عملية توحيد المكان والزمان التى تتمخض عنها الدراسة المتعمقة للنظرية •

وكان مع الواضح ، قبل أن نتحدث عن نظرية النسبية الخاصة ، أن النموذج الذى وصفه نيوتن للمكان والزمان (النموذج الثانى) يحتاج شيئا من التعديل ليتماشى مع بعض التأثيرات مثل التمدد الزمنى والانكماش الطولى • وقد نلقى بعض الضوء على البنية الجديدة للمكان والزمان بطرح الاعتبارات الآتية :

يفترض نيوتن فى النموذج الذى وضعه للمكان والزمان أنه ليست ثمة علاقة بين الأطوال أو الفواصل الزمنية وحركة المراقب أو المنظومة ، أى أن أطوال الأجسام ومعدلات تقدم الوقت لا ترتبط بالحركة النسبية لهذه الأجسام ولا ترتهن بحركة من يراقبها • أما نظرية النسبية الخاصة فتقضى بأن أطوال الأجسام تنكمش فى اتجاه تحركها بينما يتمدد تقدمها الزمنى • ولقد رأينا فى تجربة القطار أن الجسم المتحرك الذى يتعرض لتمدد فى المكان يتمدد فى الزمان أيضا — وتتذكر معا الحدثين الواقعين عند طرفى عربة القطار واللذين كان يراهما الراكب متزامنين بينما يراهما الواقف على الرصيف يقعان بفاصل زمنى بينهما • ويوحى ذلك بأنه من الأدق أن نعتبر أن الجسم قابل بصفة عامة للتمدد فى المكان والزمان معا • وقد ينظر البعض ، من قبيل التمحيص والبحث ، الى تأثيرى التمدد الزمنى والانكماش الطولى على انهما انكماش فى التمدد المكانى يظهر فى صورة تمدد زمنى • ومن هذا المنطلق قد يكون ملائما أن نعتبر أن الجسم يتسم بمقدار موحد ثابت من التمدد المكانى — الزمانى على ان « يسقط » هذا التمدد على كل من المكان والزمان بنسب متغيرة ترتهن بالسرعة النسبية للجسم • وقد ينظر الى هذا الاسقاط على انه يماثل الاسقاطات فى الفراغ العادى حيث يمكن أن يظهر خط محدد الطول ، بطول أقل كلما اقترب اتجاهه من خط البصر • وتفيد نظرية فيثاغورث بأن الطول الحقيقى لخط مستقيم يرتبط بأطوال مساقط هذا الخط على المحاور الرئيسية المتعامدة الثلاثة بالعلاقة الآتية :

$$ل^{2} = س^{2} + ص^{2} + ى^{2} \qquad (٢ - ٨)$$

حيث ان (س) و (ص) و (ى) هى أطوال المساقط على محاور الاحداثيات الثلاثة المتعامدة ،ول هو الطول الحقيقى للخط وبدراسة المعادلتين التحويليتين (٢ — ٢) و (٢ — ٥) نكتشف (باستخدام بعض العمليات

الجبرية البسيطة) أنه رغم أن (س) و (ن) هما متغيران قد يختلفان من مراقب لآخر فان (س٣ ـ ض٢ ن٢) ليست متغيرا ، أى أن :

س٢ـض٢ ن ٢ = س٢ ـ ض٢ ن٢ .

ولو اعتبرنا الحركة تحدث فى ثلاثة اتجاهات فراغية بدلا من الاتجاه السينى فقط فان هذا الفارق غير المتغير ، وقد نرمز له ب ف ، يمكن حسابه، بعد اضافة ص٢ + ى٢ ، الى المعادلة :

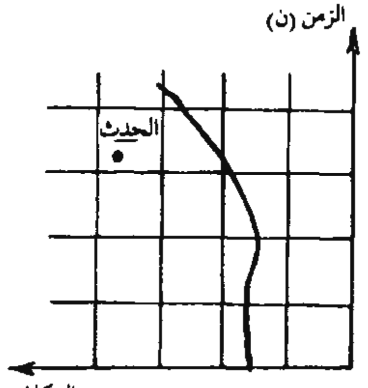
ف٢ = س٢ + ص٢ + ى٢ ـ ض٢ ن٢ (٢ ـ ٩)

وبمقارنة المعادلتين (٢ ـ ٨) و (٢ ـ ٩) يتبين أنه يمكن بالفعل الجمع بين اسقاطات المكان والزمان فى معادلة من نوع معادلة فيثاغورث شريطة أن يكون الزمان (أو الفاصل الزمنى) مضروبا فى سرعة الضوء (ض) التى تتيح ، رغم كونها سرعة ، تحويل الفاصل الزمنى الى فاصل مكانى (أى فاصل طولى) . ولكون قيمة (ض) بالغة ، فان أى فاصل زمنى ضئيل يوازى مسافة كبيرة . فالفاصل الزمنى البالغ ثانية واحدة يوازى فاصلا مكانيا مقداره ٣٠٠ ألف كم !!

ولما كان الجمع بين الفواصل الزمنية والمكانية هو السبيل الوحيد لتكوين مقدار ثابت (ف) لا تتغير قيمته من مراقب لآخر ، فان ذلك يستوجب بالفعل اعتبار المكان والزمان قيمتين مشتركتين ، مما يتيح تكوين نموذج موحد رباعى البعد للمكان والزمان . ولقد كان هيرمان مينكوفسكى Hermann Minkowski (روسى /١٨٦٤ ـ ١٩٠٩) هو أول من ناقش خصائص هذه البنية رباعية البعد ، ولذلك يعرف أحيانا نموذج المكان ـ الزمان ، القائم على نظرية النسبية الخاصة ، باسم « مكان مينكوفسكى » ، وانه لنموذج رياضى بمعنى الكلمة للمكان . ولا ينبغى أن يبعث ذلك على الاعتقاد بأن المكان هو قيمة رباعية البعد فعلا أو أن الزمان هو أحد صور المكان . وكل ما فى الأمر أن نظرية النسبية تعتبر ببساطة أن المكان والزمان يتسمان بتداخل خصائصهما وتشابكها بحيث لا يمكن وضع نموذجين منفصلين لهما .

ويمكن أن نفهم مسألة الجمع بين المكان والزمان بشكل أيسر كثيرا لو مثلناها برسم بيانى أو خريطة مكان ـ زمان . ولما كانت الخرائط ثنائية البعد ، مثل تلك المرسومة فى الشكل (٢ ـ ٨) وتتضمن خطوط الطول فى الاتجاه الرأسى وخطوط العرض فى الاتجاه الأفقى ، تعد شيئا مألوفا لمعظم الناس ، حيث قد يصور المنحنى المرسوم فيها مجرى نهر أو طريقا ، وتشكل النقطة فيها موقع مكان ما على سطح الأرض ، يمكن بالمثل رسم

خريطة تمثل المكان والزمان . وبدهى أنه لا يمكن رسم خريطة رباعية الأبعاد على ورقة ، وبالتالى سوف يقتصر المنحنى البيانى على بيان الوقت وواحد فقط من الاتجاهات الثلاثة للمكان (وليكن الاتجاه السينى) . وبدلا من خطوط العرض (Latitude) تمثل الخطوط الأفقية في مثل هذا النوع من الخرائط أعمدة صلبة في حالة سكون بالنسبة للاطار المرجعى المعنى ، ويمثل كل خط وضع العمود عند أزمنة متتالية . أما الخطوط الرأسية (خطوط الطول Longitude) فهى تقيس المسافة من نهاية العمود . ويوضح المنحنى المرسوم في مثل هذه الخريطة المسار الذى يتحرك فيه جسم ما مع مرور الوقت . وفي حالة الشكل (٢ ــ ٨) كان الجسم أصلا ساكنا في الاطار المرجعى المعنى ، ثم تحرك الى اليسار قليلا ثم أسرع تجاه اليمين . يجسد اذن المسار المرسوم في خريطة المكان ــ الزمان « تاريخ » جسم متحرك ممثل في نقطة ، وعادة ما يطلق على مثل هذا المسار « خط العالم » (World line) وتمثل النقطة في هذه الخريطة موقع حدث ما ، أى مكان وتوقيت حدوثه .

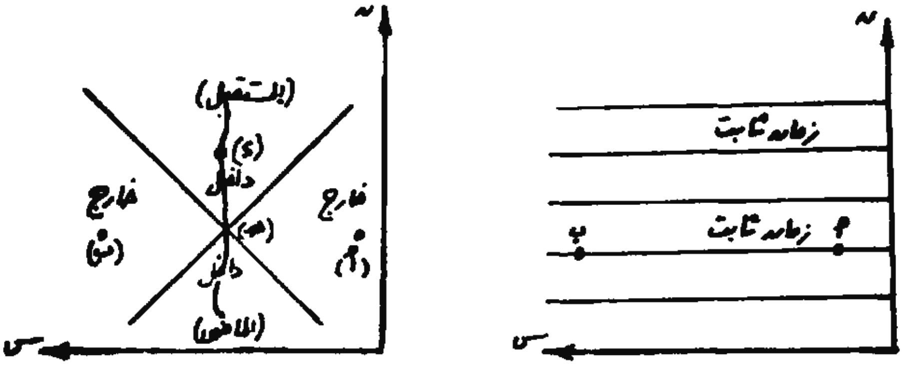


شكل ٢ ــ ٨

الشكل (٢ ــ ٨) : خريطة « الزمكان » (المكان ــ الزمان) . تمثل النقطة فى هذه الخريطة حدثا ما وقع فى مكان محدد ووقت معين . ويمثل المنحنى « تاريخ » الاحداث او تسلسلها . وتمثل « خطوط الطول » longitudes مكانا واحد فى كافة الأوقات بينما تمثل « خطوط العرض » Latitudes توقيتا واحدا فى كل الأماكن .

ويمكن استخدام الخرائط الزمكانية لتوضيح أوجه الاختلاف بين نموذجى نيوتن واينشتين للمكان والزمان . وقد يكون السبب الوحيد الذى يحول دون الجمع بين المكان والزمان النيوتونيين فى نموذج مكان ــ زمان

واحد رباعي الأبعاد ، هو أن النموذج النيوتوني لا يشكل بنية جديدة ملموســـة وانما هو يعد فى الواقع مجرد « مراوغة » تقنية ٠ ويمثل الرسم (٢ ـ ٩ ـ ١) النموذج النيوتوني للمكان والزمان ، وهو مبنى على عملية تقسيم طبيعية للمكان الى شرائح ذات توقيتات موحدة ٠ وتتسم كل النقط الواقعة فى شريحة واحدة بأنها متزامنة ، أى تجرى فى توقيت نيوتوني عام واحد ٠ وما جاء هذا التقسيم الطبيعي الا نتيجة ربط المكان والزمان النيوتونيين ببعضهما بأسلوب مصطنع ، ثم أعيد ببساطة الفصل بينهما مرة أخرى ٠ ويمكن اعتبار الاطار المرجعي فى هذه الحالة ثابتا بالنسبة للمكان المطلق (أو الأثير ان فضلنا ذلك) ٠ ومن شأن هذا الشكل للخريطة أن يتوافق مع كافة المراقبين ، بغض النظر عن حالة الحركة التى قد يكونون فيها ، وذلك لأنهم يستخدمون جميعا المكان نفسه والزمان نفســـه ٠



(٢) (١)

الشكل (٢ ـ ٩) : مقارنة بين نموذجي نيوتن واينشتين للمكان والزمان ٠ تمثل الشرائح الأفقية فى الشكل (١) المكان كله فى توقيت واحد ؛ فالحدثان (ا) و (ب) يقعان فى وقت واحد ٠ وتعد هذه الشرائح فى النموذج النيوتوني واحدة أيا كانت حركة المراقبين ٠ أما الشكل (٢) فهو يوضح نموذج مينكوفسكي للزمان والمكان وفقا لمفهوم اينشتين ٠ ولا يمكن رسم هذه الخريطة بشكل سليم الا بالنسبة لمراقب واحد يكون فى حالة حركة منتظمة معينة ٠ ومع ذلك فلن يكون ثمة اختلاف بين المراقبين فيما يتعلق بمسارى الضوء (الخطان المائلان) ٠ وتقضي نظرية النسبية بأن جميع تسلسلات الحركة لجسم تعرض للحدث (ح) لابد ان تقع داخل خطى الضوء ٠ اما الحدثان (ا) و (ب) ، الواقعان فى المنطقة « الخارجية » فليس لهما ترتيب زمني محدد ولا يمكن لاحدهما ان يؤثر على الاخر لسبب ما ، ولا على الحدث (ح) ٠ اما الحدث (د) فمن الواضح دون اى لبس انه يقع فى وقت لاحق على (ح) ٠

ولا يمكن فى المقابل أن نحلل بهذه الطريقة النموذج الذى وضعه مينكوفسكى للمكان وفقا لنظرية النسبية الخاصة • فليس هناك تقسيم طبيعى للمكان الى شرائح ترتبط كل منها بتوقيت موحد ، لأنه ليس هناك توافق بين مراقب وآخر بشأن تزامن الأحداث ولا بشأن مقاييس الأطوال • غير أن نظرية النسبية الخاصة توجد نوعا آخر من التقسيم الطبيعى على نحو ما هو مبين فى الشكل (٢ ـ ٩ ـ ٢) حيث يمثل الخطان المائلان مسـارى شعاعى ضوء يمران يمينا ويسارا بالحدث (ح) بسرعة ثابتة (ض) • ولو اخترنا وحدات واحدة للأطوال والزمن (أى سنتيمترات طولية للأطوال على سبيل المثال وسنتيمترات ضوئية للزمان) فسوف تكون زاوية ميل الخطين ٤٥° • وتتسم هذه الخريطة بأن محورى الاحداثيات (س) و (ن) لا يمكن رسمهما بشكل صحيح الا بالنسبة لاطار مرجعى واحد • فقد يفكر مراقب آخر فى رسمهما بميل مختلف وفقا لنظرته هو للمكان والزمان • غير أن خطى الضوء المائلين بزاوية ٤٥° سيبقيان دائما كما هما أيا كان الاطار المرجعى ، وذلك لان جميع المراقبين سيقيسون قيمة واحدة لسرعة الضوء • ومن ثم يمكن القول بأن هذين الخطين سيقسمان بشكل طبيعى المكـان المينكوفسكى الى منطقتين « داخلية » و « خارجية » (انظر الشكل ٢ ـ ٩ ـ ٢)• ومن شأن مسار أى جسم مادى أن يقع دائما فى المنطقة الداخلية لأنه يتحرك بسرعة تقل عن سرعة الضوء • ولو رصد مراقبان مختلفان فى حركتهما المنتظمة الجسم المتحرك فسوف يرى كل منهما مسارا مختلفا عن الآخر ، ولكن سيبقى المساران داخل خطى الضوء • ويفيد الشكل (٢ ـ ٩) بأن ثبات طبيعة خطى الضوء من شأنه أن يربط التسلسل الزمنى لكل حدث يقع بداخلهما بعلاقة ماض ومستقبل محددة مع الحدث الأم ذاته (ح) • وعلى النقيض من ذلك ، لا يمكن الزعم بأن هناك ترتيبا زمنيا معينا للأحداث الواقعة خارج خطى الضوء ولا يمكن قياسها زمنيا بالحدث (ح) • ويمكن الرجوع الى المناقشة التى أوردناها بشأن القطارين المتحركين بسرعة عالية والتى تشكل مثالا لامكان انقلاب الترتيب الزمنى للأحداث • ولا يقتضى انقلاب الترتيب الزمنى لتسلسل الحدث ضرورة أن تعكس الأسباب والمردودات • ولما كانت كافة الظواهر المعروفة (حركة الأجسام أو الاشارات الضوئية ••• الخ) لا يمكن أن تجرى بسرعة تزيد على سرعة الضوء ، فليس من شأن الأحداث الواقعة فى المنطقة الخارجية والتى ليس لها ترتيب زمنى محدد بالنسبة للحدث (ح) أن تؤثر عليه بأى شكل من الأشكال • ولو كان هنـاك وجود للتاكيونات لكان بوسعها أن تنطلق فى المنطقة الخارجية بما يسفر عن ذلك من انقلاب ترتيب السبب والمردود • ويفسر

ذلك ما ذكرناه آنفا من احتمال حدوث مواقف متناقضة فيما يتعلق بالتاكيونات ٠

وينعكس وجه الاختلاف بين الأحداث الواقعة داخل خطى الضوء وخارجهما على قيمة (ل٢) فى المعادلة (٢ ـ ٩) ، ففى الداخل تكون قيمة النسبة الخاصة بالزمان فى الحدث (ح) ، وهى (ض٢ ن٢) ، أكبر من قيمة نسبة المكان،والمتمثلة فى س (أو س٢ + ص٢ + ى٢ فى حالة احتمال الأبعاد الأربعة) ، أى أن قيمة (ل٢) ستكون سالبة ٠ وفى المنطقة الخارجية سوف تكون نسبة المكان أكبر من نسبة الزمان وبالتالى ستكون (ل٢) موجبة ٠ أما على خطى الضوء ذاتهما فستكون قيمة (ل٢ = صفر) ، وهذا يعنى أن لو اعتبرنا الحالة رباعية الأبعاد فان المسافة المقاسة بطول الشعاع الضوئى ستكون صفرا مهما كانت المسافة التى يقطعها الضوء ٠ وتنبع هذه الخصائص المحيرة بشأن (ل٢) من وجود اشارة السالب قبل (ض٢ ن٢) فى المعادلة (٢ ـ ٩) وهذه تعنى انه لا يمكن قياس المسافات على خريطة المكان ـ زمان مثلما يحدث على خريطة المكان العادية لأن المقياس يختلف باختلاف ميل الخطوط ؛ الهندسة المستوية اذن فى المكان المينكوفسكى مختلفة نوعا ما ٠ فبالامكان على سبيل المثال أن يتسم خط موجة ، وفقا لنموذج مينكوفسكى للمكان ، بأن يكون موازيا وفى نفس الوقت متعامدا على نفسه !!

ورغم هذه السمات الغريبة ، ما من فيزيائى يشك اليوم بيقين فى سلامة نظرية النسبية فى سياق ما تناولناه آنفا من حالات ٠ ولو كانت نظرية نيوتن سليمة تماما لظل العديد من الظواهر ، التى صارت مفهومة بتفاصيلها العميقة ، بدون تفسير ٠ ومع ذلك فقد ظلت هناك حدود استمرت بضع سنوات لاستخدام نظرية النسبية ٠ غير أن اينشتين نشر فى عام ١٩١٥ مغامرة فكرية هائلة ثانية تفيد بأن النظرية الخاصة لم تكن سوى تمهيد تقريبى لنظرية نسبية عامة تشمل تأثير الجاذبية ٠ ولا يعنى ذلك أن النسبية الخاصة خاطئة وانما هى بمثابة تقريب مقبول طالما كانت قيمة الجاذبية ضئيلة بحيث يمكن اهمالها ، تماما مثلما كانت الميكانيكا النيوتونية تعتبر صحيحة مادامت السرعات محدودة ٠

ولسوف تقودنا نظرية النسبية العامة الى عالم تتسم فيه الأمور بمزيد من الغرابة ٠

الباب الثالث

عدم التناظر بين الماضي والمستقبل

٣ ـ ١ معنى عدم التناظر فى الزمان

وقد نتساءل ما هو سبب التغير الذى يطرأ فى الكون ؟ ولماذا تتسم بعض المنظومات الطبيعية بالبقاء بشكل أو آخر على حالها بينما تتعرض نظم أخرى للتغير ، سواء أكان تطورا أم اضمحلالا ؟ وما هى طبيعة هذا التغير الأساسية ؟ فالذرة (أو على الأقل نواتها) تبقى هى الذرة رغم ما تتعرض له من تفاعلات وما يربطها من علاقات مع المحيط حولها ، ويتعاقب الليل والنهار فى انتظام يبدو أبديا • ومع ذلك نرى على سبيل المثال محركات السيارات تتلف وتبلى ، وتنحر الرياح والأمطار سفوح الجبال ، ويولد الانسان ويشب ويهرم ليموت فى النهاية • لماذا تتوقف الساعات الأرضية عن الدوران اذا لم تملأ بينما تجرى الساعات الفلكية ـ التى تتحكم فى الأيام والشهور والسنوات ـ بلا تدخل أو مساعدة ؟

وقد شكلت مسالة محاولة فهم لماذا وكيف تتعرض أشياء دون غيرها من حولنا للتغير فصلا طويلا من التاريخ العلمى تعددت بشأنه الآراء وأثارت الكثير من الجدل • ونظرا للكم الضخم من المنظومات الطبيعية الموجودة في الكون من حولنا ولما تتسم به هذه المنظومات من تعدد هائل وتعقيد ، كان من الطبيعى أن تاتى دراسة مراحل تطورها بشكل مستقل أينما برزت أهمية اى منها فى كل واحد من فروع العلم • وسواء كان فرع العلم المعنى هو الديناميكا الحرارية أو الاحياء أو الاحصاء أو الميكانيكا أو الديناميكا الكهربية أو الفلك أو كثيرا غيرها ، كانت هذه المسالة تعالج دائما باستخدام الأساليب الرياضية مصبوغة بلغة أهل هذا الفرع من العلم أو ذاك • وأينما حدث تداخل فيما بين التخصصات المختلفة فى تناول هذه الموضوعات برزت اختلافات وجهات النظر وتفجر الجدل بشأن مسالة التغير والزمان • ويمكن فى الواقع تلافى قدر كبير من هذا الجدل لو أمكن فى مطلع الأمر ايضاح المفاهيم العامة وفصل المسائل العملية عن الآراء الفلسفية • وربما كانت نقطة الاختلاف الكبرى فيما يتعلق بمسألة تغير الأشياء مع الزمان ، تكمن فى اللبس بين الزمان كمتغير يدخل فى قوانين الطبيعة والزمان كما يدخل فى ذهن البشر •

ولقد أوردنا في الفصل الأول مفهوم الانسان لكل من المكان والزمان ، وأوضحنا أوجه الاختلاف النوعي الصارخ بينهما · ويتمثل أبسط ادراك في ذهن البشر للزمان في أنه « نشاط ذو اتجاه واحد » ، ويراه البعض أحيانا كتيار متدفق للوقت بينما يراه البعض الآخر كحركة للوعي والادراك « في » الزمان أو « خلاله » · وليس ثمة ادراك مناظر له فيما يخص المكان · وما كان من شأن الميكانيكا النيوتونية ، والكهروديناميكا الماكسويلية ، والنسبية الخاصة والعامة ونظرية الكم ، بكل ما طرأ عليها كلها من تعديلات رياضية ، الا أن أبرزت بدرجات متفاوتة التماثل من حيث البنية بين المكان والزمان · ولم يحدث في أي وقت أن برزت خلال عمليات تطوير الفيزياء النظرية الحاجة لاعتبار الزمان بعدا متحركا متدفقا · بل حتى عالم النسبية انما هو موصف في خريطة استاتيكية رباعية الأبعاد · ولذلك يبدو الزمان بالصورة التي يدخل بها في معادلات الفيزياء النظرية ، أنه يفتقر الى تلك الخاصية الأساسية المتعلقة بالجانب النفسي للانســـان فيما يخص الزمان · وسوف نتناول بالتفصيل في الباب السابع هذا العامل الغريب ، وسوف نورد أيضا بعض الآراء التي طرحت تأييدا للاقتراح الباهر الذي يدعو الى اعادة الزمان بمفهومه كتيار متدفق ، الى مجرد وضع الوهم النفسي ·

وحتى بغض النظر عن مفهوم الزمان كحركة نفسية ذات اتجاه واحد ، فمازال هناك تمييز بين الماضي والمستقبل · وقد يساعد على فهم هذا التمييز أن نمثله بشريط فيلم سينمائي · ولنفترض أن هذا الفيلم يصور تسلسل واحد من الأحداث اليومية ولتكن على سبيل المثال عملية اشتعال عود ثقاب · ويتكون الفيلم من مجموعة من الكادرات ويمكن اعتباره نموذجا طبيعيا للعالم الحقيقي · وهب أننا قطعنا الشريط السينمائي الى كادرات وخلطناها ، ثم طلبنا من أحد الأشخاص اعادة ترتيبها ، لن يجد هــذا الشخص ، حتى لو لم يشهد الحدث الأصلي ، صعوبة كبيرة في وضع الكادرات في ترتيبها الصحيح · ويعزى ذلك الى أن عود الثقاب قد تعرض أثناء هذا الحدث للتغير بتسلسل معين بحيث انه ليس هناك سوى ترتيب واحد للكادرات من شأنه أن يعرض هذا التغير بالشكل الذي جرى به في العالم الحقيقي ·

نفترض الآن أن التجربة قد اعيدت ولكن بتصوير الحركة الترددية لبندول الساعة · ورغم أنه من الوارد هنا أيضا أن يخطىء المرء في ترتيب الكادرات فانه ليس هناك في هذه الحالة مجرد تسلسل وحيد من شأنه أن يصف الحدث الحقيقي بشكل سليم · فلو كان الفيلم الأصلي يصور على سبيل المثال ، الحركة الترددية العادية للبندول ، فمن شأنه ، لو أعيد

ترتيب كادراته بشكل معكوس (أو لو عرض الفيلم بشكل معكوس) ، أن يعرض كذلك البندول فى حركته الترددية العادية. ولا شك أن الشخص المراقب لو كان قد شاهد الحدث الأصلى لصار بوسعه أن يحدد أى التسلسلين يطابق الواقع (فقد يلاحظ على سبيل المثال أن البندول بدأ الحركة من الوضع الرأسى الى جهة اليمين بينما يعرض الفيلم بترتيبه المعكوس الحركة تبدأ الى اليسار) . وليست القضية هنا هى الفصل فيما اذا كان الحدث قد جرى بتسلسل معكوس أم لا ، ولكن ما يعنينا هو أن الاحتمال قائم ويتماشى تماما مع قوانين الفيزياء ومع الملابسات اليومية العادية .

ومن طرق وصف مجرى الأمور فى التجربتين السابقتين هو أن نقول ان تسلسل الأحداث فى الحالة الأولى يتسم « بعدم تناظر فى الزمن » (asymmetric in time) كما يتصف التسلسل فى الحالة الثانية بأنه « متناظر » (Symmetric) . ونبادر بالاشارة الى أن وصف « متناظر » فى هذا المقام لا يستوجب بالضرورة أن يكون الحدث دوريا (periodic) ونوضح ذلك بالمثال التالى : لو أن جسما سماويا سقط صوب الشمس من مكان سحيق واتخذ مدارا قريبا حولها ثم أفلت ثانية وذهب بلا رجعة ، فلا يمكن وصف تحركه بانه دورى ، ولكنه بالقطع يتسم بالتناظر بالنسبة للزمان بما انه قد حدث «بشكل معكوس» (reversible) . وهذا يعنى أن الجسم لو تحرك فى عكس الاتجاه على المسار ذاته فلن يأتى بشىء غير مألوف وسيتوافق تماما مع قوانين الفيزياء .

وعلى النقيض من الظواهر الدورية والمتناظرة الأخرى ، والتى لا تبعث على الدهشة اذا جرت بشكل معكوس ، فان الظواهر غير المتناظرة تتسم بأنها لو جرت بشكل معكوس فستبدو من قبيل المعجزة . فلو حدث على سبيل المثال أن امتزج عود ثقاب متفحم بسحابة دخان ساخنة فاعيد الى هيئته قبل الاشتعال ، فسيدخل ذلك بلا شك فى اطار المعجزات .

ونصل الآن الى النقطة الجوهرية : فان سمة عدم التناظر بالنسبة للزمان ، التى يصورها المثال السابق المتعلق بمجموعة كادرات الصور فى الشريط السينمائى ، ليست واحدة من خصائص الزمان ذاته ، وانما هى خاصية بنيوية لمجموعة الكادرات . ولما كان الفيلم يعد نموذجا للعالم الحقيقى فان هذه الخاصية تعود أيضا على المنظومات المادية الحقيقية (عود الثقاب والدخان ... الى آخره بالنسبة لهذا المثال) . وهذا يعنى أن تفسير عدم تناظر الزمان فى الكون لا يكمن فى بنية الزمان ذاتها وانما فى بنية الكون الذى يضع صورا غير متناظرة لتسلسل الأحداث فى ترتيب زمنى واحد .

ولقد أدى الفشل فى التمييز بين خاصية « عدم تناظر » الزمان ـ وهى خاصية يتسم بها العالم الذى نعيش فيه ـ وبين الزمان كتيار متدفق أو حركة وجدانية على نحو ما تناولناها بالمناقشة آنفا ـ وهى خاصية تبدو على الصعيد النفسى أنها من خصائص الزمان ذاته ، الى ايجاد أجيال من اللبس واختلاف المفاهيم بشأن « أصل » عدم تناظر الزمان · وقد يبعث على فهم هذا التمييز وعلى تبديد اللبس أن نشير الى أن خاصية عدم التناظر فى حالة الشريط السينمائى تعد سمة تتعلق بالشريط ذاته حتى لو وضع على هيئة كادرات متراصة فوق منضدة (أى لا دخل للزمان فى شىء) ، فليس من الضرورى أن يتم تركيب الفيلم وعرضه بالفعل على مدى بعض الوقت ليتجلى عدم التناظر ·

ويرجع هذا الخلط بين المفهومين فى جانب منه الى اختلاف دلالات الالفاظ · فكلمة عدم التناظر تمثل عادة فى الفيزياء برأس سهم يشير الى اتجاه أو آخر · ويشكل دوران الأرض على سبيل المثال صورة مفيدة لعدم التناظر لأنه يبعث على التمييز بين القطب الشمالى والقطب الجنوبى : فالمرء الواقف عند القطب الشمالى سيجد الأرض تدور تحت قدمه فى عكس اتجاه عقارب الساعة بينما لو وقف عند القطب الجنوبى سيجدها تدور فى اتجاه الساعة ! وقد جرى العرف ، من قبل العادة التاريخية البحتة على رسم سهم يشير الى القطب الشمالى فى جميع خرائط ورسومات الملاحة البحرية ، ويرجع ذلك على الارجح الى أن التطبيق الرياضى فى هذا المجال ابتكر فى النصف الشمالى من الكرة الأرضية ، كما أن العديد من البوصلات أيضا مجهزة بمثل هذا السهم · غير أن وجود سهم يشير الى الشمال فى بوصلة السفينة يقتضى لا محالة أن تكون السفينة متجهة بالفعل الى الشـــمال · وليس هناك ما يحول دون أن يعقد اتفاق على تجهيز البوصلات بأسهم تشير الى الجنوب · ويمكن بنفس الطريقة الاشارة الى الزمان فى هذا الاتجاه أو ذاك بحسب الاتفاق البحت · وقد وقع الاختيار فى الواقع على أن يرسم اتجاه السهم فى حالة عود الثقاب بحيث تشير رأسه الى اتجاه الزمان الذى يشهد اشتعال العود بينما يشير ذيله الى اتجاه العود قبل الاشتعال · وبدلا من تسمية الاتجاه الأول « الشمال » والثانى « الجنوب » ، فاننا نطلق على الاتجاه الأول اسم « المستقبل » وعلى الاتجاه الثانى « الماضى » · ويعنى هذا الاصطلاح بالطبع أن السـهم يشير أيضا فى اتجاه التدفق الذى يتفق مع المفهوم الوجدانى للزمان · ومثلما أنه ليس ثمة ما يفرض على السفن أن تتحرك شمالا فان وجود سهم يشير الى المستقبل كعلامة على وجود عدم تناظر فى الزمان لا يقتضى أن يأتى تدفق الزمان من الماضى الى المستقبل · وقد يحدث بالتأكيد أن يكون لدينا



شكل ٣ ـ ١

الشكل (٣ ـ ١) : سهم الزمان : تجرى العديد من المنظومات فى اتجاه زمنى واحد • ويطلق على هذا الاتجاه اسم « المستقبل » ، ويمكن ان يرمز له بسهم • ويوضح السهم أن العالم يتسم بعدم التناظر ، حتى ان لم يكن يحدد اية حركة خلال الزمان • انها ظاهرة وجدانية اصلها غامض •

انطباع بذلك ، ولكن ليست لهذا علاقة (ظاهرية) بعدم تناظر الزمان • وكم من مؤلف تحدث عن « سهم » الزمان أو « اتجاه » الزمان دون أن يميز بين عدم تناظر الزمان من ناحية وتيار الزمان من ناحية أخرى ! •

ويتغلغل طابع عدم التناظر الزمنى فى حياتنا اليومية على نطاق واسع لدرجة أن محاولة تصنيف هذه الظاهرة تبدو للوهلة الأولى مسألة مربكة للغاية • ويعد النشاط البيولوجى واحدا من أبرز مصادر التغير غير المتناظر ، فحياة الانسان تبدأ بمولده طفلا ثم يشب وينمو رويدا رويدا ويتقدم به العمر الى أن يتعرض للتغير الحاسم المفاجىء المتمثل فى الموت • وليس من الوارد مطلقا أن يقل عمر الانسان مع مرور الوقت • ويتسم قدر بالغ من التغيرات فى البيئة المحيطة بنا بأنها بيولوجية • كما يعد النظام الاجتماعى للانسان مصدرا آخر للتغيرات غير المتناظرة مثل التطور الثقافى وتطور التعمير فى المدن والتطورات التكنولوجية ، بل ان الأراضى القاحلة سرعان ما تموج بالحركة والنشاط ما أن تدب فيها الحياة • ويعد التطور البطىء للأجنـــاس ذاتها مثالا آخر مهما للتغير البيولوجى غير المتنـــاظر •

ويحتاج تكدس المعلومات الكثير من التغير الفكرى ، ففى كل مكان تتكدس التسجيلات الخاصة بالأحداث السابقة ولكن ليس بالنسبة للأحداث المستقبلية ، فالمكتبات تمتلىء بالكتب ، وتمتلىء الرمال على الشواطىء بآثار الأقدام ... الخ · ويعد الكثير من المعالم فى البيئة الأرضية بمثابة تسجيلات لهذا الطابع · ولا شك أنه رغم تكدس المعلومات بشكل شامل فان المعلومات الدقيقة المحددة تضمحل وتتلاشى · فمن شأن ظاهرة المد والجزر على سبيل المثال ان تمحو آثار الأقدام · ودائما ما تكون عملية اضمحلال المعلومات ذات اتجاه زمنى واحد : فليس من شأن خط تليفونى مشوش أن يفيد المحادثة ، بل على العكس فانه يقلل كمية المعلومات المتبادلة بين المتحدثين ·

وتعد ظاهرة عدم التناظر أيضا سببا لكثير من التغيرات فى المحيط غير الحى من البيئة ، فالثلج على سبيل المثال يتحول الى مياه والمياه تتحول الى بخار ، ولو وضعنا قطعة من الثلج فى اناء به ماء فى درجة الغليان فسوف تذوب وتتحول الى مياه ساخنة ، ولا يمكن أن يحدث العكس ، أى لا يمكن أن تتجمد مياه ساخنة فى التو بينما تحيط بها مياه فى حالة غليان · وهناك عدد كبير من التغيرات غير المتناظرة التى تتسم بطابع التبدد والتلاشى ، منها على سبيل المثال الخلل بكافة صوره ، حيث انه يتجه دائما الى الانتشار والاضمحلال ، فالحرارة تشع من الأجسام الساخنة ، وتنتقل الى الوسط المحيط بالجسم ، كما أن الغاز ينتشر ويتبدد فى الجو ، ولو تولدت أمواج فى مياه راكدة فانها تنتشر وتهدأ تدريجيا حتى تتلاشى ، والتيارات الهوائية مثل الرياح ، « تعصف بنفسها للخارج » ، وتشع الحرارة والضوء من الشمس والنجوم وينتشران فى الفضاء المحيط ، وهلم جرا ·

والواقع أن التغير غير المتناظر بالنسبة للزمان يعد سمة تشمل كل الظواهر الطبيعية تقريبا · بل اننا لو تتبعنا على نطاق زمنى طويل تلك المجريات التى تبدو للوهلة الأولى متناظرة ، فسوف نكتشف أنها ليست كذلك · فمن شأن بندول الساعة على سبيل المثال أن يتباطأ تحت تأثير الاحتكاك والمقاومة الهوائية الى أن يقف تماما ، وذلك ما لم يكن ثمة محرك يدفعه ـ وما هذا المحرك أيضا الا جهاز ذو طابع تبددى · وحتى الأرض تتعرض فى دورانها حول الشمس لمقاومة ضعيفة ناجمة عن الوسط الفضائى المنتشر فيما بين الكواكب · ويمكن بالتقريب تلخيص المسألة بأن نقول ان عدم التناظر فى الوقت هو سمة كل الأنشطة على النطاق المحسوس ·

ومن الملاحظ فى الجانب الاعظم من كل هذه الأمثلة أننا يمكن أن نفهم الخطوط العريضة لطبيعة ما ورد بها من تغير ، وذلك عن طريق تحليل

فرع واحد فقط من فروع العلم الطبيعى وهو الديناميكا الحرارية · واذا كان هذا العلم قد خصص فى مطلع الأمر لمناقشة انتقال الحرارة بين النظم المختلفة ولبحث أداء المحركات الحرارية ، فقد أصبحت الديناميكا الحراريه الحديثة ـ بعد أن تعمقت وبلغت مستوى بالغ الدقة بفضل الميكانيكا الاحصائية ـ تغطى قدرا فائقا من الموضوعات حتى انها صارت تشمل تقريبا كل نطاق الظواهر الطبيعية اليومية المعتادة · بل ان ما طرأ حديثا من تقدم مثير فى الميكانيكا الاحصائية (فى مجال عدم التوازن الفائق) قد أوجد أسسا جديدة فى الديناميكا الحرارية تتيح فهم الحياة ذاتها · ولو قيمنا التغير البيولوجى من منظور عدم التناظر الزمنى فسنجد أنه يمكن اعتباره فرعا من فروع الديناميكا الحرارية · بل ان نظرية المعلوماتية الحديثة (information theory) يمكن أن تعاد صياغتها فى مفاهيم توازى عن قرب مفاهيم الديناميكا الحرارية والميكانيكا الاحصائية ، ويمكن الآن اعتبار الاضمحلال غير المتناظر للمعلوماتية مثالا لأحد المبادىء العامة فى الديناميكا الحرارية ·

غير أنه ما زال هناك جانب من المجريات المتسمة بعدم التناظر الزمنى لا يتصل طابعها بشكل مباشر بالديناميكا الحرارية · فموجات الراديو على سبيل المثـال تصـدر ممن جهاز الارسـال وتنتشر فى الفضاء بسرعة الضوء · أما المجرى المعكوس للأمور ، أى وصول موجات راديو من جميع الاتجاهات من الفضاء الخارجى فى توقيت واحد لتتجمع فى جهاز الارسال ، فلا يبدو شيئا واقعيا بالمرة · وبمزيد من المبالغة نقول انه لا يمكن استقبال رسالة راديو قبل ان ترسل ! فلابد أن يأتى الاستقبال بعد الارسال · ولا يمكن فهم هذا النوع من عدم التناظر ـ ومثله بالنسبة لأنواع أخرى من الموجات ـ بشكل مباشر عن طريق دراسة الديناميكا الحرارية ·

ويعد علم الكونيات مجالا لمناقشة التغيرات الكونية الكبرى · فنحن نعيش فى كون متمدد تتطور معالمه فى خطوطها العريضة مع الزمان · وفى الطرف الآخر ، يشتمل العالم دون الذرى على جسيم غريب يعرف باسم الميزون (K° meson) · ولا يبقى هذا الميزون على حاله الا لمدة ٥ × ١٠ $^{-}$ ٨ ثانية يتحلل بعدها الى ثلاثة جسيمات أخرى · والشىء المثير للدهشة هو أن المجرى العكسى للأمور ، أى تجمع الجسيمات الثلاثة لاعادة تكوين الميزون ، لا يتبع بدقة التسلسل الزمنى العكسى للتحلل (على عكس حال كل الجسيمات الأخرى) · ومن ثم يتسم تحلل الميزون باتجاه زمنى محدد ·

وسوف نتناول موضوع علم الكونيات فى البابين الخامس والسادس· غير أننا لن نذهب الى أبعد من ذلك فى مناقشة موضوع الميزونات ، حيث

لا يبدو أنها ذات تأثير كبير على عدم التناظر الزمنى بصفة عامة رغم ما تنسم به من مسلك مثير للاهتمام · وسوف نتناول فى هذا الباب أولا طبيعة عدم التناظر ومصدره بالنسبة للظواهر التى تحتمل التوصيف وفقا لمبادىء الديناميكا الحرارية ، ثم نلقى بعد ذلك بعض الضوء على موضوع انتشار الموجات بصفة عامة والموجات الكهرومغناطيسية بصفة خاصة ·

٣ ـ ٢ اللاعكوسية (irreversibility) والنظرية الثانية فى الديناميكا الحرارية :

ذكرنا فى القسم السابق أن قوانين الديناميكا الحرارية وضعت أساسا لوصف أداء المحركات الحرارية · ويعد ما يسمى بالقانون الأول للديناميكا الحرارية قاعدة نظرية تقول بأن الحرارة هى واحدة من صور « الطاقة » · وكشأن كل صور الطاقة ، يمكن للحرارة أن تتحول من صورة الى أخرى · وتعد المحركات البخارية آلات رائعة تحول الطاقة الحرارية الى طاقة حركية ، بينما يحول السخان الكهربى الطاقة الكهربية الى حرارة · وتتسم الطاقة فى جميع الأحوال بأن مقدارها الاجمالى ثابت · وهذا هو ما يعبر عنه القانون الأول أو ما يسمى بقانون بقاء الطاقة ·

وتكمن الحرارة فى الأجسام فى صورة حركة جزيئاتها · ويؤدى ارتفاع الحرارة الى اضفاء مزيد من السرعة على حركة الجزيئات · وهى حركة سريعة بحق · وتبلغ سرعة تحرك جزىء الهواء النمطى فى درجة الحرارة العادية بضع مئات من الأمتار فى الثانية · وعندما يتصل جسمان مختلفان فى درجة حرارتيهما ، فان الجزيئات السريعة فى الجسم الأسخن ترتطم بجزيئات الجسم الأبرد وتنقل اليها بعضا من طاقتها ، فتنتقل بذلك الحرارة من الجسم الساخن الى الجسم الأبرد · وسرعان ما تتساوى درجة الحرارة ، فتتوقف عملية الانتقال ، ويقال ان الجسمين قد بلغا مرحلة التوازن الحرارى (وذلك اذا كان الجسمان معزولين عن أى مصدر حرارى آخر) ·

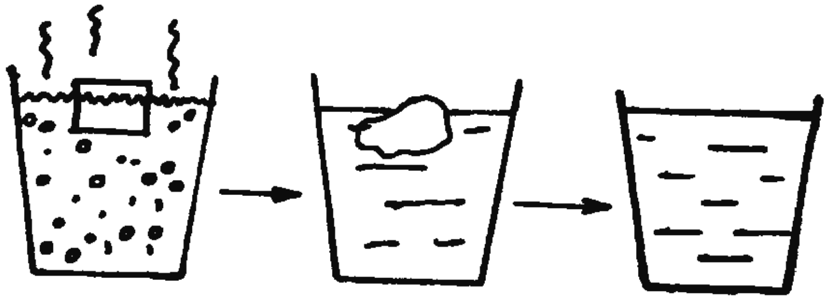
ونستنتج من ذلك مبدأ عاما مؤداه أنه ما من نظام من شأنه ـ فى حد ذاته ـ أن ينقل الحرارة من درجة أقل الى درجة أعلى ، ودائما ما يكون تدفق الحرارة من الساخن الى البارد · وعادة ما نعبر عن هذه الخاصية بوصف عملية الانتقال الحرارى بأنها لا عكوسية · ويمكن بالطبع أن تجرى العملية بشكل معكوس وتعود الحرارة من جسم بارد الى جسم ساخن ولكن باستخدام آلية خارجية · وتعد الثلاجات مثالا لذلك ، حيث انها تطرد الحرارة من داخلها الى خارجها · غير أن ذلك لا يتم الا عن طريق

عملية لا عكوسية أخرى تتمثل في استهلاك نوع ما من الطاقة الخارجية اللازمة لتشغيل الثلاجة ٠

وتجسد عملية اشعاع الحرارة من الأجسام الساخنة ثم تبددها فى الجو المحيط الأقل سخونة ، واحدة من صور القانون الثانى للديناميكا الحرارية ٠ ولا ريب أن هذا القانون يتسم بعدم التناظر الزمنى لأنه لا مجال فيه لان تجرى الأمور بشكل عكسى وتنتقل الحرارة من البارد الى الساخن ٠ ومنذ أن صيغ القانون الثانى بلغة التدفق الحرارى اتضح أنه يتسم بقدر فائق من العمومية ، وأنه يصف ظاهرة عدم التناظر فى الزمن لعدد كبير من الحالات المتنوعة ٠

ولتوسيع مجال القانون الثانى بحيث يشمل أنواعا أخرى من الحالات المتسمة باللاعكوسية ، أدخل الفيزيائيون كما جديدا أطلقوا عليه اسم « الانتروبيا » (Entropy) ٠ وتعد الانتروبيا فى تعريفها الدقيق معاملا رياضيا ، غير أنه يمكن أن يحتمل تفسيرات طبيعية متعددة ٠ وثمة وجهة نظر مفيدة تصف الانتروبيا بأنها مقياس لعدم الانتظام ، أى ان المنظومة التى تتصف ببنية جيدة منتظمة تتسم بانتروبيا محدودة ، أما المنظومة التى تزيد فيها الانتروبيا فهى منظومة تتسم بالفوضى وعدم الانتظام ٠ والانتروبيا الخاصة بمنظومة تتكون من جسم بارد قريب من جسم آخر ساخن تعد بشكل ما أقل من الانتروبيا الخاصة بالمنظومة ذاتها اذا كان الجسمان فى حالة توازن حرارى ٠ ويعزى السبب فى ذلك الى أن الحرارة الكامنة فى المنظومة من شأنها أن تكتسى قدرا أكبر من الانتظام اذا كانت هناك فرصة لان تبقى أساسا فى الجسم الساخن عما لو انتشرت بشكل منتظم فى المنظومة كلها ٠ بمعنى آخر تتسم الحالة الأولى بمقدار أكبر من البنيــــة ٠

ويبعث ذلك على اعادة صياغة القانون الثانى للديناميكا الحرارية بحيث يفيد بأنه من المستبعد تماما أن تقل الانتروبيا فى أية منظومة ٠ ونبادر على الفور بتقييد هذا النص بضرورة أن تكون المنظومة « معزولة » أى موجودة فى حاوية محكمة لا تسمح بتسرب الحرارة اليها ٠ ومن الواضح أنه لو تهيأت الفرصة لحدوث تفاعل بين نظم خارجية والمنظومة المعنية فمن الجائز أن تقل الانتروبيا ، كأن نستخدم مضخة حرارية على سبيل المثال لنقل الحرارة من جسم بارد الى جسم ساخن ٠ ومع ذلك يؤكد القانون الثانى أن مجموع الانتروبيا فى المنظومة الشاملة التى تتضمن (فى حالتنا هذه) المضخة الحرارية ومصدر طاقتها وسائر المنظومة ، يتزايد دائما (أو على الأقل يبقى ثابتا) ٠ خلاصة القول ، يفيد القانون أن الانتروبيا فى الكون لا يمكن أن تقل ٠

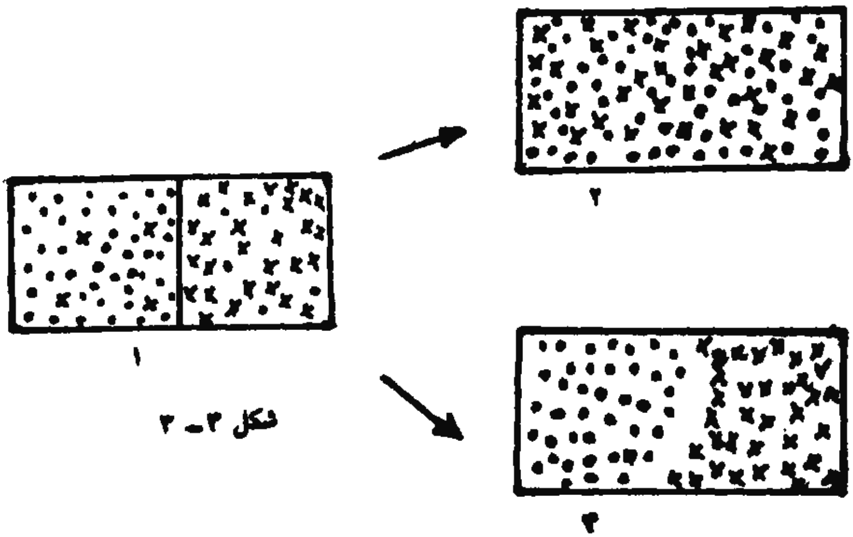


الشكل ٣ ـ ٢ القانون الثاني للديناميكا الحرارية · ينظم القانون الأول « كمية » الطاقة فى صورة حرارة ، بينما يتناول القانون الثانى اسلوب تنظيمها · وقد عبر العالم البريطاني لورد كلفين (Lord Kelvin) (١٨٢٤ ـ ١٩٠٧) عن القانون الثانى بعدم اجازة تدفق الحرارة من الأجسام الباردة الى الاجسام الساخنة · وعلى ذلك فمن شان المياه الساخنة ان تذيب الثلج ولكن ليس من شان الثلج ان يجعل المياه تغلى ، اى ان الترتيب الزمنى للاحداث يجرى دائما من اليسار الى اليمين على نحو ما هو مبين فى الشكل · ويتسم القانون الثانى اذن بقدر اكبر كثيرا من العمومية · انه افضل القوانين المعروفة المنظمة للنشاط الطبيعى واقربها الى المنطق ·

ويمكن ، باستخدام هذا المفهوم للانتروبيا ، الربط بين حالة التوازن الحرارى والحد الأقصى من الانتروبيا · فمن شأن أى تغيير يحدث فى منظومة معزولة أن يؤدى الى زيادة الانتروبيا فيها ، وعندما تصل المنظومة فى نهاية المطاف الى حالة التوازن ، فلا مجال لحدوث مزيد من التغيير ، وبالتالى لن تعلو الانتروبيا أكثر من ذلك ، أى أنها تكون قد بلغت حدها الأقصى ·

ويمكن أيضا الربط بين الانتروبيا والمعلومات · فلو اتسمت منظومة طبيعية بقدر كبير من النظام ، فسوف تحتاج قدرا كبيرا من المعلومات لوصفها ، أو يمكن القول من زاوية أخرى انها تحتوى على قدر كبير من المعلومات · وفى المقابل يقل حجم المعلومات فى أية منظومة تتسم بالفوضى · ويمكن أن ندلل على ذلك بترتيب الحروف فى صفحتنا هذه ، فلو رتبت بتسلسل سليم ، فسوف تتجسد المعلومات فى صورة كلمات وسطور وفقرات ... الخ · أما لو وضعت بشكل عشوائى فلن يستفيد القارىء شيئا يذكر منها · ويمكن اذن تعريف المعلومات بأنها « انتروبيا سالبة » (negative entropy) أو (negentropy) على نحو ما يطلق عليها أحيانا · وهذا يعنى أنه كلما زادت الانتروبيا قلت المعلومات ·

ومن مميزات صياغة القانون الثاني للديناميكا الحرارية فى صورة قانون للانتروبيا أنها تضفي عليه مزيدا من العمومية · ومن هذا المنطلق ، نلاحظ أن المثــال الذى سنســتعين به كثيرا فى هذا الكتــاب لشرح القانون لا يتضمن بالمرة أي انتقال للحرارة ، وهو يتمثل فى الآتي : هب أن لدينا نوعين من الغاز (أ) و (ب) موجودين في حاوية محكمة تعزلهما تماما عن العالم الخارجي · وتتكون الحاوية (انظر الشكل ٣ ـ ٣) من صندوق مقسوم الى غرفتين يفصل بينهما سور · ويوجد فى الغرفة اليسرى خليط يتألف من ٩٠٪ من الغاز (أ) و ١٠٪ من (ب) بينما يوجد فى الغرفة اليمنى خليط آخر يتكون من ٩٠٪ (ب) و ١٠٪ (أ) · ماذا سيحدث لو رفعنا السور الفاصل بين الغرفتين ؟ ان جزئيات الغاز المتحركة عشوائيا بسرعة كبيرة سوف تنتشر بعد فترة قصيرة فى الغرفتين وتمتزج ببعضها وسرعان ما يصبح الخليط منتظما بحيث يتكون تقريبا من ٥٠٪ (أ) و ٥٠٪ (ب) فى كلتا الغرفتين · ولا شك أن هذه العملية تتسم بعدم التناظر فى الزمان لانه ليس من الوارد أن نجد وعاء ممتلئا بخليط من



شكل ٣ ـ ٣

الشكل ٣ ـ ٣ قانون زيادة الانتروبيا · تمثل النقط فى هذا الشكل الغاز (١) بينما تمثل العلامات (×) الغاز (ب) وعندما يرفع السور من الصندوق يمتزج الغازان ·· ويتسم الترتيب فى الشكل (١) بقدر اكبر من النظام عنه فى الشكل (٢) وبالتالى تقل الانتروبيا فى (١) عن (٢) · غير ان ذلك يتطلب ايضــا حجما اكبر من المعلومات لوصفه · ومن غير الوارد مطلقــا ان تقل الانتروبيا بصورة ذاتية كما هو مبين فى الشــكل (٣) (اى ليست هنــاك منظومة معزولة لديها القدرة على اجراء تنظيم ذاتى) ·

الغازين ثم يحدث فجأة أن ينفصل الغازان من تلقاء ذاتهما ويتجه كل منهما الى أحد جانبي الوعاء · ويشكل قانون زيادة الانتروبيا وصفا جيدا لعملية الخلط ، فالوضع في الحالة الأصلية ـ عندما كان الغازان منفصلين ـ كان بلا شك أكثر انتظاما (ويحتوى على قدر أكبر من المعلومات) وبالتالى كانت الانتروبيا أقل منها في حالة الفوضى التى صاحبت عملية المزج بعد رفع السـور ·

وبتعميم هذا المثال نستنتج ذلك المبدأ المستمد من الطبيعة والذى يقول بأن النظام يفسح المجال للفوضى !

ويعد هذا المبدأ مألوفا بالنسبة للحياة البشرية · فلا شك أن تحقيق أى انجاز على درجة عالية من النظام والبنية يعد أصعب كثيرا من مجرى الأمور بشكل معكوس : فمن السهل تدمير منزل وتحويله الى كوم من الحجارة بينما تشكل اعادة بنائه صعوبة كبيرة · غير أنه ثمة منظومات يبدو للوهلة الأولى أنها ذات بنية طبيعية وأنها تناقض قانون الانتروبيا ، فمن شأن المنظومات البيولوجية مثلا أن تتطور وتتحول الى بنيات أكثر تعقيدا ، ولو تحول سائل الى هيئة بلورية فان بنيته الذرية ستكون أكثر ترتيبا عنها في الحالة السائلة وهلم جرا · ولكننا لو أمعنا النظر في هذه المجريات فسوف نكتشف أن الانتروبيا الاجمالية لكل منظومة و « محيطها » تتزايد دائما ، فالنشاط البيولوجى على سبيل المثال لا يستمر الا بفضل الزيادة في انتروبيا ضوء الشمس التى تعد مصدرا للطاقة لكل صور الحياة على الأرض · ولو وضعنا نباتا أو حيوانا داخل صندوق محكم ، فسرعان ما سيفنى مؤكدا المبدأ القائل ان النظام في ظل العزلة ينهار ويتحول الى فوضى ·

ولقد جرت في عام ١٨٦٦ أول محاولة لشرح كيف يتسنى أن يفسح النظام المجـال للفـوضى ، وقام بها العـالم الأسـترالى لودويج بولتزمان Ludwig Boltamann (١٨٤٤ ـ ١٩٠٦) · ولم يكن المفهوم الذرى للمادة قد تبلور بعد عندما طرحت فكرة الانتروبيا في الديناميكا الحرارية ، ولذلك فقد طرحت على مستوى الكميات المحسوسة (macroscopic) درجة الحرارة والضغط في الغازات في حالات التوازن · ثم جاءت أعمال العالم الألمانى رودولف كلاوزيوس Rudolph Clausius (١٨٢٢ ـ ١٨٨٨) وجيمس كليرك ماكسويل James Clerk Maxwell في منتصف القرن التاسع عشر وتضمنت محاولة لوصف أوجه التباين بين الحالات الغازية المختلفة عن طريق توصيف جوانب الاختلاف في تركيباتها الجزيئية · وكان العلماء في ذلك الحين يعتبرون الجزيئات ذاتها جسيمات ضئيلة

متحركة تخضع لقوانين الميكانيكا النيوتونية ، وكانوا يضعون القوانين التى تحدد خصـــائص الغازات فى حالات التوازن ـ مثل درجات الحرارة والضغوط ـ استنادا الى الدراسات التحليلية الرياضية لتأثير الحركة الاجمالية لعدد هائل من الجزيئات المتماثلة · وانطلاقا من وجهـة النظر الميكروسكوبية هذه كان ضغط الغاز يعرف بأنه مجموع قوة الصدمات بالغة الضعف الناجمة عن حركة الجزيئات وارتطامها بحوائط الوعاء · وكانت درجة الحرارة تعرف من منظور سرعة الحركة الجزيئية ، فكلما كانت حركة مكونات الغاز أسرع ارتفعت درجة حرارته · وكانت الحرارة الاجمالية للغاز تعرف بأنها مجموع الطاقة الناجمة عن كل هذه الحركة (وقد يضاف الى ذلك بعض الطاقة الناتجة عن الحركة الدورانية الداخلية وذبذبة الجزيئات ذاتها) ·

وقد حاول بولتزمان أن يوسع نطاق تطبيق نظرية الحركة الجزيئية هذه لتشمل حالات عدم التوازن وذلك فى اطار السـعى لايجاد وصف رياضى يبين كيف يمكن لمنظومة أن تتغير بشكل ذاتى من حالتها الأصلية الى حالة التوازن · وتتفق هذه العملية ذات الاتجاه الزمنى الواحد مع أساس مبدأ عدم التناظر الزمنى فى العالم الطبيعى · ورغم أن أبحاث بولتزمان انحصرت فى دراسة نموذج بالغ الخصوصية يمثل أحد الغازات المعزولة فى صندوق محكم ، لم تكشف دراسة نماذج أخرى أخف قيودا أية مبادىء أساسية جديدة تتعلق بعدم التناظر الزمنى ·

وتفيد أبحاث بولتزمان بأن كل حالة بعينها لغاز معزول فى صندوق (محددة بتوزيع معين للحرارة والضغوط وسائر الخصائص الأخرى) تتماشى مع عدد من البدائل المختلفة لمواقع جزيئاتها المنفردة وتحركاتها · وتحتاج بعض الحالات تحقيق قدر أكبر من الترتيب قياسا بغيرها · فهناك على سبيل المثال عدد أكبر من الطرق التى تحقق توزيع الغاز بشكل منتظم فى الصندوق عما لو كان مطلوبا أن تكون كل كمية الغاز محصورة فى ركن صغير منه · وهناك من ناحية أخرى عدد محدود نسبيا من الطرق لجعل الجزيئات كلها تتحرك فى اتجاه واحد بينما هناك عدد ضخم من بدائل الملابسات التى تجعل حركة الجزيئات كلها عشوائية · وهكذا ، كلما كانت الحالة أكثر نظاما قل العدد الملائم من بدائل الترتيبات ، وهذا يعنى أن حالات الانتروبيا العالية يمكن أن تتحقق بعدد من الطرق يفوق نظيره فى حالات الانتروبيا المنخفضة · وفى ظل هذه النظرية الجزيئية للغازات ثمة حالة واحدة يمكن أن تتحقق بعدد من الترتيبات الميكروسكوبية يفوق كثيرا مثيله فى الحالات الأخرى ، وهذه هى حالة الانتروبيا القصـــوى التى تتناسب مع الحد الأقصى من الفوضى · ويمكن القول اذن ان التوازن هو

الحالة التى يمكن « على الأرجح » أن تتحقق لو كانت الجزيئات موزعة توزيعا عشوائيا ٠

وتقوم فكرة بولتزمان بشأن تطور حالة الغاز صوب التوازن ، والتى عبر عنها بما أســـماه نظرية H (H. theorem) على الدمج بين قوانين الميكانيكا النيوتونية (التى تصف حركة الجزيئات) وبين ما افترض بشأن الكيفية العشوائية التى يتجه بها النموذج الغازى الى اعادة ترتيب ذاته ٠

وكان يعتقد أن اعادة الترتيب الجزيئى تأتى نتيجة ارتطام الجزيئات ببعضها ، فمن شأن هذه العملية أن تؤدى الى تغير خليط (reshuffling) الجزيئات ، ولو حدث ذلك بدرجة كافية من العشوائية فسيتضح كيف يتحول غاز من حالة تتصف بقدر معقول نسبيا من الانتظام - وبالتالى قلة الانتروبيا - الى حالة التوازن المتسمة بقدر كبير من الفوضى ٠ ويعزى ذلك على وجه التحديد الى أن عدد الترتيبات الميكروسكوبية غير المنتظمة تفوق كثيرا عدد الترتيبات المنتظمة ٠ ويمكن تشبيه تلك العملية بمجموعة من أوراق اللعب مرتبة بدقة ثم أعيد خلطها عشوائيا ٠ وكم هو بعيد احتمال أن يأتى هذا الخلط العشوائى بترتيب منظم للأوراق ! ٠

وقد وضع بولتزمان افتراضا احصائيا بشـــأن طبيعة الارتطامات الجزيئية مؤداه أن حركة الجزيئات المقبلة على الارتطام هى واحدة سواء أوقع الارتطام أم لا ، وذلك لأن الجزيئات « لا تعرف » ما اذا كان الارتطام سيقع أم لا ، وبالتالى فلا مجال لأن يتأثر بأى شكل من الأشكال تحركها السابق على الارتطام ٠ أما الحركة بعد الاصطدام فهى تتأثر بلا جدال بما اذا كان الحدث قد وقع أم لا ٠

وقد أطلق بولتزمان على هذا الافتراض اسم (stossahlanstaz) بمعنى افتراض الفوضى الجزيئية ٠ ومن شأن الجزيئات المتحركة عشوائيا أن تخل سريعا بترتيبها المنتظم ٠ وركز بولتزمان فى أعماله على محاولة ايجاد اثبات رياضى قوى لهذا النموذج الذى طرحه لمسلك الغاز ٠ وقد لجأ فى هذا السياق الى تعريف كم أسماه « H » ترتهن قيمته بمدى ماتتصف به الجزيئات من ترتيب ٠ وتفيد نظرية (H) بأنه ليس من شأن قيمة (H) الا أن تزيد مع الزمان ٠ وهذا يعنى أن (H) ما هى فى الواقع الا تعبير عن الانتروبيا ٠ وهكذا أصبحت نظرية (H) هى التفسير أو التعبير الذرى المباشر لقانون زيادة الانتروبيا ٠ ولقد سلطت هذه النظرية الضوء على الآلية التى يجرى بها الأداء غير المتناظر زمنيا لمنظومات الديناميكا الحرارية ٠ ولذلك فهى تعد بحق واحدا من الانجازات الشامخة للفيزياء النظرية ٠ غير أن الشىء الوحيد الذى شاب نظرية (H) هو ذلك التناقض الجوهرى المحير

الذى تكرر ظهوره بصورة أو باخرى فى سياق الجدل الذى ثار بشأنه على مدى قرن من الزمان ٠

٣ ـ ٣ تناقض خاصية العكوسـية

وليس هناك أدنى شك فى أن أية نظرية تقوم على أسس الميكانيكا النيوتونية وحدها لا تشكل اثباتا لقانون زيادة الانتروبيا فى أية منظومة معزولة ٠ والسبب فى ذلك بسـيط وهو أن الميكانيكا النيوتونية تتسم بالتناظر الزمنى ، وهذا يعنى أن أية حركة للذرات تتفق مع قوانين نيوتن لابد أن لها شكلا معكوسا فى الحركة يتفق كذلك مع هذه القوانين ٠ أى أن كل ارتطام وكل مسار للذرات (وفقا لنموذج بولتزمان) لابد من وجود شكل معكوس له ٠ وليس من شان مبادىء الميكانيكا النيوتونية ـ التى تقوم عليها النظرية برمتها ـ أن تميز بين اتجاه زمنى وآخر ٠ ولما كان عدم التناظر لا يمكن أن ينجم عن التناظر ، فهذا يعنى ان القول بأن نظـرية بولتزمان ، التى تفيد بأن الانتروبيا تزيد بشكل غير متناظر زمنيا ، تقوم على مبادىء الميكانيكا النيوتونية وحدها هو قول خاطىء ٠ ولن يغير من الأمر شىء ، بالنسبة لهذا الاعتراض ، ما عرف بعد ذلك من خطأ الميكانيكا النيوتونية فى وصف حركة الذرات ٠ ولن تفيد كذلك الاعتبارات العلاقاتية فى هذا المجال ٠ اذن ، فمادام بولتزمان قد أثبت أنه لا مجال للانتروبيا الا لأن تزيد ، فلا شك أن هناك شيئا ما متعلقا بعدم التناظر الزمنى ، بالاضافة الى الميكانيكا ٠

وكان ج ٠ لوشميت J. Loschidt هو أول من نشر فى عام ١٨٧٦ اعتراضا على « التفسير الميكانيكى البحت » لقانون زيادة الانتروبيا ٠ وكانت نظرية بولتزمان تنص على الآتى : اختر أية حالة لغاز ما ، واعمل على حدوث بعض الارتطامات بين جزيئاته بحيث تحصل على حالة جديدة ، سوف تجد أن الانتروبيا فى الحالة الجديدة لا يمكن أن تقل عنها فى الحالة الأصلية ٠ وقد نقض لوشميت هذه النتيجة بأن توصل الى حالات جديدة قلت فيها الانتروبيا عن الحالات الأصلية ٠ وما هذه الحالات الجديدة ببساطة الا معكوس الأوضاع النهائية فى الحالات السابقة ٠ فلو تصورنا أن كل الجزيئات فى حالة انتروبيا عالية قد عكست فجأة حركتها « بفعل السحر » فسوف « يعود » الغاز الى حالته الأصلية المتسمة بقدر أقل من الانتروبيا ٠ ويرجع السبب فى ذلك الى أنه اذا كانت كل حالة ارتطام جزيئى فردية تتسم بالعكوسية ، فلابد أن تنسحب هذه السمة على الحركة الشاملة للغاز ٠ ونستنتج من اعتراض لوشميت انه ليس من شأن كل حالات الغاز أن تؤدى بالضرورة الى زيادة الانتروبيا ٠

وثمة اعتراض آخر طرحه أ · زرميلو E. Zrmelo ويتعلق أيضـا بما تتسم بها قوانين الميكانيكا المعنية هنا من تناظر زمنى · وكان هنرى بوانكاريه Henri Poincaré (فرنسى ، ١٨٥٤ ــ ١٩١٢) قد وضع نظرية عامة بشأن المنظومات الميكانيكية المعزولة التى تخضع لقوانين الميكانيكا المتسمة بخاصية العكوسية · وتقول هذه النظرية بأنه من شأن مثل هذه المنظومات أن تعود مرات ومرات بغير حدود الى حالة قريبة بدرجة أو بأخرى من أية حالة أصلية محددة · ونستنتج من ذلك انه من شأن اى غاز معزول فى صندوق محكم وفى حالة انتروبيا منخفضة أن يعود الى حالة انتروبيا منخفضة أخرى قريبة من حالته الأصلية · وما من طريقة يعود بها نظام ما الى حالة انتروبيا منخفضة دون أن تتعارض مع نظرية (H) لبولتزمان ·

وتتسم نظرية بوانكاريه بدرجة من الاثارة والغرابة حتى اننا سنتوقف قليلا ــ من قبيل الفكاهة ــ عند بعض تبعاتها · وقد نعبر عن هذه النظرية بطريقة كوميدية بأن نقول ان اى شيء يمكن أن يحدث فى أية منظومة معزولة تماما سيحدث ويحدث ويتكرر بغير حدود ! ولنضرب مثالا لذلك بغرفة معيشتى ولنفترض أنها معزولة تماما عن العالم الخارجى · ماذا سيحدث فى هذه الغرفة بعد وقت طويل ؟ قد نجد المنضدة ترتفع الى السقف ، وقد نرى الزهور الموجودة عليها قد دبت فيها الحياة بعد أن تكون قد ذبلت وتحللت منذ أمد بعيد ، بل قد أبعث أنا ذاتى فيها مرات ومرات ، وقد تتجه كل ذرات الهواء الموجودة فى الحجرة وتتكدس فى واحد من أركانها · كل ذلك واى شيء غيره يمكن أن يحدث ويتكرر مرات ومرات ، ولكن ثمة مشكلة وحيدة وهى انه ينبغى أن ننتظر لوقت طويل للغاية الى أن تقع مثل هذه الأحداث الغريبة · وربما كان ما أسماه بوانكاريه بزمن التكرارية (Poincaré recurrence time) أى الزمن بين التكرار والتكرار ــ هو أطول مدة تكهن بها انسان ، فهى تقدر قيمتها بـ ١٠^ن ، حيث (ن) هو عدد الجسيمات التى تتكون منها المنظومة المعنية · وتقدر قيمة (ن) بالنسبة للفرد الواحد والمحيط المباشر من حــوله بزهاء ١٠^٢٦ ذرة ، اى أن رقم بوانكاريه سيصل الى ١٠^(١٠^٢٦) ، وانه لرقم يحتاج مجهودا لاستيعابه : انه واحد على يمينه ١٠^٢٦ رقما !! · ولا يهم هنا أن نعبر عن هذا الرقم بالثانية أو حتى بعمر الكون ، فماذا يعنى ١٢ رقما اضافيا أو نحو ذلك قياسا بعدد ١٠^٢٦ من الأرقام على يمين الواحد · ان نظرية بوانكاريه تفيد بامكان حدوث المعجزات ولكنها نادرة بدرجة لا يمكن حتى تخيلها ·

ومن ناحية أخرى ، من البدهى أن يكون هناك اعتراض على افتراض عزل غرفة معيشتى عزلا كاملا ، فذلك أمر مستحيل ، وهو اعتراض فى

محله • غير اننا لو تكلمنا على نطاق أوسع كثيرا فسنقول ان الكون كله كان يعتبر في وقت من الأوقات منظومة معزولة ملائمة لأن تطبق عليها نظرية بوانكاريه ، بل ان بولتزمان يرى أن الحالة الراهنة للكون انما هي واحدة من المعجزات التي يتحدث عنها بوانكاريه • وعلى أية حال سوف نتناول ذلك الموضـــوع وغـــيره من المســـتجدات الغريبة في البـــابين الخامس والســـادس •

ولعلنا نعود الى الموضوع الرئيسي وهو نظرية بولتزمان وما أثارته من اعتراضات بشأن العكوسية ، لا سيما بعد أن أصبحت خلاصة هذه الاعتراضات واضحة • وقد ذكرنا أن بولتزمان استخدم قوانين الميكانيكا النيوتونية علاوة على أنه افترض وجود حالة من الفوضى الجزيئية • غير أن هذا الافتراض لا يمكن أن يكون دائما صحيحا • ولفهم الطريقة التي لا يتحقق بها هذا الافتراض فلندرس بمزيد من العناية ، التفاصيل الدقيقة لحركة الجزيئات • فلو ركزنا الانتباه على مجموعة صغيرة من مثل هذه الجزيئات تتحرك عشوائيا في الصندوق بسرعة عالية وترتطم ببعضها باستمرار ، وتنتقل في كل لحظة من اطار حركة لاطار آخر ، فسوف نلاحظ أن المسلك الجماعي لهذه المجموعة الصغيرة يجرى بشكل عادى في معظم الوقت ، فهناك على سبيل المثال عدد من الجزيئات يتحرك يمينا بينما يتحرك عدد آخر شمالا وهلم جرا • ولكن قد **يتصادف لحظيا** أن تنتظم الحركة في خطوط مستقيمة أو تتخذ شكلا جماعيا موحدا خلال مجرى الأحداث •

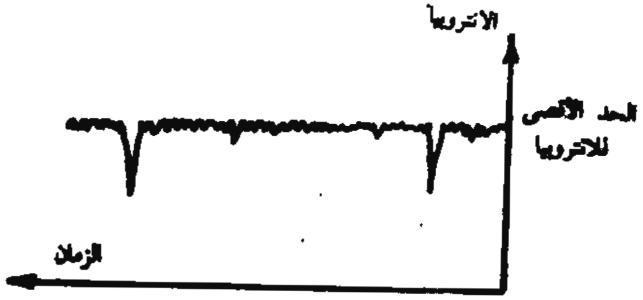
وتفيد احدى النظريات الاحصائية البســـيطة بأن احتمال حدوث هذه الاستقامة التلقائية اللحظية في حـــركة الجزيئات يتضاءل بشكل حاد كلما زاد عدد الجزيئات المعنية • وبالتـــالى فان احتمالات أن تتخذ كل جزيئات الغاز في الصندوق شكلا موحدا للحركة (كأن تتحرك على سبيل المثال في لحظة واحدة لتتكدس في نصف الصندوق) هي احتمالات متناهية الضآلة ، ولكنها ليست مع ذلك معدومة تماما • ونستنتج من ذلك أن الانتروبيا يمكن أن تنخفض ويمكن لغاز في حالة غير منتظمة أن ينتقل لحظيا وبشكل تلقائي الى حالة أكثر انتظاما وشكل أكثر ترتيبا ، غير أن ذلك احتمال يكاد يكون في الواقع مستحيلا • ولو شئنا الاستعانة بمثال محدد فلنعد مرة أخرى الى مثال الصندوق المقسوم المبين في الشـــكل ٣ ــ ٣ • واستنادا الى نظرية بوانكاريه سوف تأتي ــ لحظة ــ وتتحرك فيها كل جزيئات الغاز (ب) الموجود في الغرفة اليسرى ، صوب اليمين بينما تتحرك كل جزيئات الغاز (أ) الموجود في الغرفة اليمنى ، صوب اليسار • ولو تصورنا أن الفاصل بين الغرفتين قد رفع في هذه اللحظة ، فسوف ينفصل الغازان مرة أخرى على نحو ما هو مبين في الشـــكل

٣ ــ ٣ (٣) · غير أن احتمال ان يأتى رفع الحاجز فى اللحظة ذاتها التى يقع فيها مثل هذا الحدث بالغ الندرة هو احتمال ضئيل بدرجة تبعث على الصعيد العملى على اعتباره معدوما · ولا شك أن المنظومات الطبيعية المألوفة تحتوى على عدد من الجزيئات يبلغ من الضخامة ما يجعل الزيادة فى الانتروبيا أمرا شبه محقق ويمكن اعتباره واحدا من قوانين الطبيعة ·

وانطلاقا من هذا التفسير الاحصائى الجديد للفوضى الجزيئية يمكن التوفيق بين نظريه *بولتزمان وأوجه الاعتراض عليها بشأن مسألة المكوسية · فلو كانت هناك منظومة فى حالة انتظام نسبى تتسم بانتروبيا منخفضه ، فمن شبه المؤكد أنها ستعمل سريعا على اعادة ترتيب نفسها لتصل الى حاله أقل انتظاما وبالتالى ذات مقدار أعلى من الانتروبيا · غير أن ذلك ليس بالأمر الحتمى · وفى المقابل ، وبالتناظر ، من المرجح تماما أن تكون المنظومة قد وصلت الى هذه الحالة من الانتروبيا المنخفضة انطلاقا من حالة فى الماضى تتسم بمقدار أعلى من الانتروبيا · وذلك يعنى أن أية حالة عشوائية تتسم بمقدار منخفض من الانتروبيا هن المرجح تماما أن يكون هذا المقدار قريبا من أدنى حد يمكن أن تصل اليه · وقد ييسر فهم هذه المسألة أن ندرس المسلك بعيد المدى لغاز معزول فى صندوق على نحو ما هو مبين فى الشكل ٣ ــ ٤ · ان من شأن مثل هذا الغاز فى معظم الأحيان أن يكون قريبا من حالة التوازن متسما بحد أقصى من الانتروبيا نتيجة ما تتصف به جزيئاته هن عشوائية التوزيع وتعادل الانتشار والتحرك فى كافة الاتجاهات · وتأتى بين الحين والحين موجة عارضة ضعيفة تخل بهذا التوازن فتكتسب المنظومة لحظيا مقدارا من البنية ما تلبث أن تتلاشى سريعا نتيجة الارتطامات العشوائية ·

وقد يحدث فى حالات بالغة الندرة أن تأتى موجة كبيرة بالفعل تجعل الانتروبيا تنخفض بشكل حاد ، كأن تتجمع على سبيل المثال كل الجزيئات فى نصف الصندوق · ولا شك ان مثل هذه الحالة ستقع بالتأكيد بالقرب من قاع واحد من هذه النتوءات لان عدد البروزات الصغيرة يفوق كثيرا عدد النتوءات الكبيرة · وقد نلاحظ أن منحنى الانتروبيا عند قاع النتوءات يتسم بالتناظر بالنسبة للزمان ، وبالتالى يعتبر افتراض فوضى الجزيئات افتراضا جيدا عند هذه النقطة ، غير أنه ينطبق بشكل متماثل سواء أكان اتجاه الزمان للأمام أم للخلف ·

وتتمثل فائدة نظرية بولتزمان فى أنها تصف كيف يمكن أن ينتقل نموذج غاز من حالة انتروبيا منخفضة الى حالة توازن ، ولكنها لا تفسر



شكل ٣ ــ ٤

الشكل ٣ ــ ٤ لا مجال لان يختلف المستقبل عن الماضى بالنسبة لصندوق محكم يحتوى على غاز · وقد يحدث ان تقل الانتروبيا عن الحد الاقصى نتيجة عملية اعادة ترتيب عارضة تضع الجزئيات لحظيا فى حالة جماعية موحدة · وتظهر هذه الحالات على هيئة بروزات فى الرسم البيانى · ومن الواضح ان البروزات الكبيرة تحدث بمعدل اقل كثيرا من معدل البروزات الصغيرة ، ويبين الرسم بوضوح أن التغيرات فى الانتروبيا ليس لها اتجاه معين بالنسبة للزمان ·

لماذا يحدث ذلك دائما فى اتجاه زمنى واحد ــ من الماضى الى المستقبل · لقد اختفى عدم التناظر الزمنى من نموذج بولتزمان !

٣ ــ ٤ افتراض وجود نظم فرعية

ولو نظرنا الى الشكل (٣ ــ ٤) فسوف نلاحظ على الفور أن الغاز المعزول بصفة مستديمة فى صندوق ، لا يتسم مسلكه بعدم التناظر ، حيث يؤدى به طول الأمد الى أن تكون « زياراته » لحالات الانتروبيا المنخفضة بالغة الندرة رغم أن الانتروبيا تتزايد وتتناقص بنفس المعدل تقريبا · ويوضح الشكل أن الأمر يتساوى سواء أكان اتجاه الزمان يمينا أم يسارا ·

ولا شك أن المنظومات الحقيقية ليست كذلك النموذج ، فعدم التناظر الزمنى هو واحد من حقائق الحياة ، ولذلك لابد فى العالم الحقيقى أن تختلف صناديق الغاز اختلافا جوهريا عن نموذج بولتزمان · فما هى أوجه الاختلاف هذه ؟

ولن تجدى كثيرا محاولة دراسة نموذج أكثر واقعية من نموذج بولتزمان · ولكن الاجابة على هذا السؤال تنبع من سؤال آخر سابق عليه وهو كيف تنتقل منظومة حقيقية الى حالة انتروبيا منخفضة · ومن

خصائص نموذج بولتزمان أن أية حالة انتروبيا منخفضة عشوائيا تشكل على الأرجح حدا أدنى من الانتروبيا ناجما عن موجة أخرجت الغاز لحظيا من حالة التوازن • وليس من المقبول منطقيا أن نتوقع حدوث مثل ذلك الأمر فى المنظومات الحقيقية • فلو كنت سائرا على شاطىء البحر وصادفت قلعة رملية نصف مطموسة ، فسوف أستنتج أنه كانت هناك قبل ذلك قلعة رملية كاملة • ولو رجعنا الى مفهوم بولتزمان فسنجد أنه يفترض أن القلعة الرملية كانت على الأرجح أقل بنية عما رأيتها وليس العكس ! ومع ذلك ، ورغم يقينى بأن عوامل النحر المتمثلة فى الريح والمد والجزر سيكون من شأنها أن تزيل تماما القلعة الرملية وتسويها بالأرض (وتعد الحالة المستوية هى حالة التوازن) فلا يبعثنى ذلك على القول بأن الريح والمد والجزر لابد **أيضا** أن كان من شأنها أنها أتت فى بداية الأمر بمعجزة **تكوين** هذه البنية • فالشاطىء ليس بمنظومة معزولة تماما ، ولابد أن يكون هناك شخص قد بنى هذه القلعة الرملية قبيل رؤيتى لها • ولم تصل المنظومة الى أنتروبيتها المنخفضة وحالتها المنظمة بفضل موجة عارضة بالغة الندرة من الهواء والمد والجزر عصفت بالرمال فشكلتها على هيئة قلعة ، من العالم الخارجى وليس بموجات عشوائية •

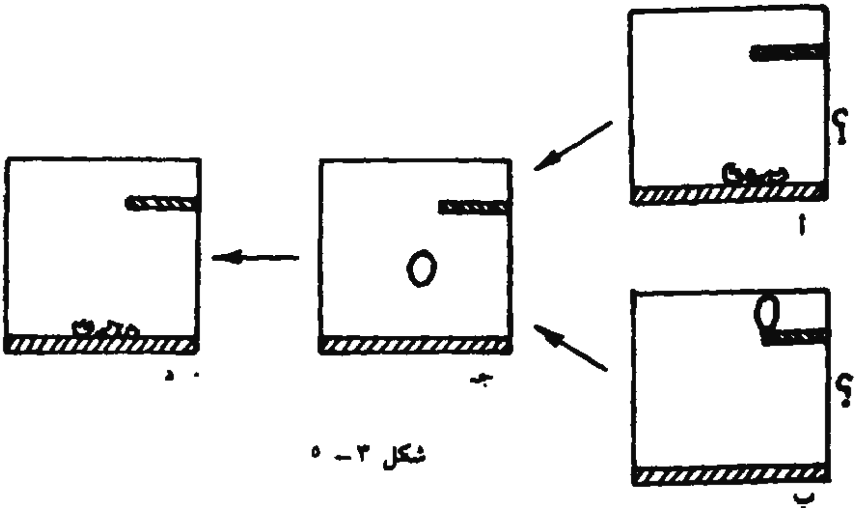
ولو عدنا الى حالة الغازين (أ) و (ب) فى المثال المذكور آنفا فسنجد انه يمكن ، وفقا لمفهوم بولتزمان ، تحقيق التوزيع الأصلى فى هذا المثال (وهو ٩٠٪ و ١٠٪) ، عن طريق الانتظار طويلا حتى تحدث المعجزة ويتعرض خليط متماثل من الغاز لموجة خلل تحوله من ٥٠٪ و ٥٠٪ الى هذه الحالة الأصلية ثم يوضع الحاجز بعد ذلك فى مكانه • أما فى العالم الحقيقى فلا يمكن أن تحدث مثل هذه العملية ، بل سيأتى شخص بدلا من ذلك ، ويفتح ببساطة صندوقا فارغا ويضع فيه الغازين بالنسبة المطلوبة • من شأن المنظومات الحقيقية اذن أن يتحقق فيها الترتيب بتدخل من العالم الخارجى وليس موجات عشوائية •

وقد يفيد أن ننظر الى تلك المنظومة باعتبارها شيئا جديدا جاء نتيجة هذا التدخل الخارجى • وفى حالات عديدة لا يكون لبعض المنظومات وجود فى الأصل قبل حدوث التدخل الخارجى ، مثل حالة مكعب الثلج على سبيل المثال عندما يوضع فى مياه فى درجة الغليان • ولا جدال أن كل المنظومات فى العالم الحقيقى لابد وأن تكون قد تكونت فى مرحلة سابقة بواسطة المحيط الأوسع نطاقا •

ولكى نميز بين المنظومات الحقيقية ، التى تكونت بانتروبيا منخفضة نتيجة انفصالها عن سائر الكون ، وبين المنظومات المعزولة من قبيل نموذج بولتزمان ، سوف نستخدم الاصطلاح الذى أدخله الفيلسوف الألمانى

هانز ريشينباخ Hans Reichenbach (١٨٩١ ـ ١٩٥٣) لوصف النوع الأول وهو « المنظومات الفرعية » · وتنتمى كل المنظومات الحقيقية الى نوع أو آخر من المنظومات الفرعية · وهناك فى الواقع شجرة كاملة متدرجة من الأفرع بحيث يرتهن كل فرع بفرع آخر بحسب تدرجه · وسوف نتناول فى الباب السادس هذه الشجرة بالتفصيل ·

ومن شأن المنظومة الفرعية المكونة توا أن يتسم مسلكها بعدم التناظر فى الزمان ، لأنها تكونت بفضل نوع من التدخل الخارجى · وهذا يعنى أن عدم التناظر يكمن فى التدخل الخارجى وليس فى المنظومة ذاتها ·



شكل ٣ ـ ٥

الشكل ٣ ـ ٥ المنظومات الحقيقية هى منظومات فرعية · لو صادفت بيضة تسقط من رف كما هو مبين فى الشكل (جـ) فسوف اتنبأ بانها سترتطم بعد ذلك بالارض وتتحطم كما فى الشكل (د) · ولن يحدث ان اعود بفكرى الى الوراء وازعم انها مكسورة قبل ان اراها كما فى الشكل (أ) ، بل اذا شئت قلت انها كانت على الرف كما فى الشكل (ب) وتدحرجت فسقطت · ولو كانت المنظومة معزولة ، على غرار نموذج بولتزمان ، لكان الوضع (أ) اقرب كثيرا الى الصحة من (ب) ولكن فى العالم الحقيقى يكون التسلسل المنطقى هو الوضع (ب) يليه (جـ) ، اما اذا جاء (جـ) بعد (أ) فانه يعد بمثابة معجزة · فلا يمكن ان يتحول (أ) الى (جـ) الا اذا اتحد حطام البيضة والأرض فاعيد تكون البيضة ثم نطرت لأعلى فى حركة منظمة ثم سقطت مرة اخرى وتحطمت من جديد · ولو تم التسلسل على هذا النحو (أ) ـ (جـ) ـ (د) لكان متناظرا من حيث الزمان ، اما لو تم التسلسل على هذا النحو (أ) ـ (جـ) (د) لكان متناظرا من حيث الزمان ، اما التسلسل (ب) ـ (جـ) ـ (د) فهو غير متناظر · فاذا أردنا اذن ان نعرف أصل عدم التناظر علينا ان نسال : « كيف وضعت البيضة على الرف ؟ » ·

غير أن هذه المعلومة الجوهرية المفيدة لا تنطوى على تحديد للاتجاه الذى يتخذه عدم التناظر ، ولا تفيد أيضا بما اذا كان عدم التناظر ، فى كل مرة تقيم فيها منظـومة بأنها منظـومة فرعيـة ، يتخذ دائما نفس الاتجاه الزمنى أم لا ٠

وتعد الآلية الواردة فى الشكل ٣ ـ ٣ تجسيدا جيدا لهذه الملحوظات٠ فالصندوق عندما كان مقسوما الى جزءين بالجدار الفاصل ، كان يعد منظومتين منفصلتين ، ولما رفع الجدار أصبح منظومة واحدة ٠ وتمثل حركة رفع الجدار ما أشرنا اليه آنفا من انه التدخل من جانب العـالم الخـارجى ٠

ولندرس معا الآن التجربة التالية : هب أن الجدار فى الشكل ٣ ـ ٣ رفع للحظات ثم أعيد الى مكانه ، فماذا تكون النتيجة ؟ لا شك اننا سنتوقع بشكل عام أن الخليط سيكون ٥٠٪ من الغاز (أ) و ٥٠٪ من (ب) فى كل من الغرفتين ٠ واذا أعدنا الآن التجربة من هذا الوضع الجديد ، فماذا نتوقع ؟ يقول المنطق العام بأنه لن يحدث أى تغيير وسيستمر الخليط ٥٠٪ (أ) و٥٠٪ (ب) فى كلتا الغرفتين ٠

وتشكل تلك النتيجة تناقضا محيرا لأن التدخل الخارجى فى هذه الحالة يتسم فيما يبدو بأنه متناظر من حيث الزمان ـ فقد رفع الجدار ثم أعيد مكانه ٠ ولو صورنا التجربة بالفيديو وأعدنا عرض الفيلم بالمعكوس فسـنجد الجدار يرفع وينفصل الغازان ثم يعود الجدار ٠ وليس ذلك بالوصف الصحيح للتجربة الثانية حتى لو كان الوضع الأصلى للغاز فى الحالتين متماثلا على المستوى المحسوس ٠ فالفيلم يبين أن الانتقال تم من خليط ٥٠٪ و٥٠٪ الى خليط ٩٠٪ و١٠٪ بينما الواقع يقول ان التخطيط ٥٠٪ و ٥٠٪ لم يتغير ٠ فلماذا يأتى الفيلم بوصف صحيح للتجربة الأولى بينما يفشـل ، اذا عرض بالمعكوس ، فى وصف التجربة العكسـية (التجربة الثانية) ؟ ومن ناحية أخرى لماذا نتوقع أنه لو كانت هناك ألف منظومة مماثلة فسوف يتحول الخليط فيها جميعا من ٩٠٪ و ١٠٪ الى ٥٠٪ و ٥٠٪ ولا نتوقع مثلا أن يتحول الخليط فى بعض منها الى ٩٩٪ و ١٪ ؟ بمعنى آخر لماذا يكون دائما تغير الانتروبيا فى هذه المنظومات متـوازيا ؟

وينبغى ـ كخطوة أولى فى سبيل تفسير هذا التناقض ـ أن ندرس أوجه الاختلاف على الصعيد الميكروسكوبى بين حالتى الغاز عند بداية التجربة الأولى ونهايتها ، فبعد رفع الجدار مباشرة فى بداية التجربة سوف تتسم على الأرجح حركة الجزيئات بالفوضى ، وبالتالى ستبدأ نسـبة

الخليط ٩٠٪ و ١٠٪ في الاختلال • أما عند نهاية التجربة ، وبعد أن يكون التوازن قد تحقق وصارت نسبة الخليط ٥٠٪ و ٥٠٪ ، فان الوضع سيكون مختلفا تماما • ولو نظرنا الى الأحداث بشكل معكوس ، أى لو عدنا بالزمان الى الوراء فسنجد أن الجزيئات تتحول الى الفوضى من وضع أكثر انتظاما ، غير أن هذا التحرك العشوائى يجرى فى اطار محدد يصل بهذه الجزيئات الى حالة أخرى منظمة هى حالة الخليط ٩٠٪ و ١٠٪ • وعلى النقيض من ذلك ، ليس هناك فى التجربة الثانية ـ التى لم تتغير فيها نسبة الخليط ـ مثل هذا الاختلاف بين بداية التجربة ونهايتها •

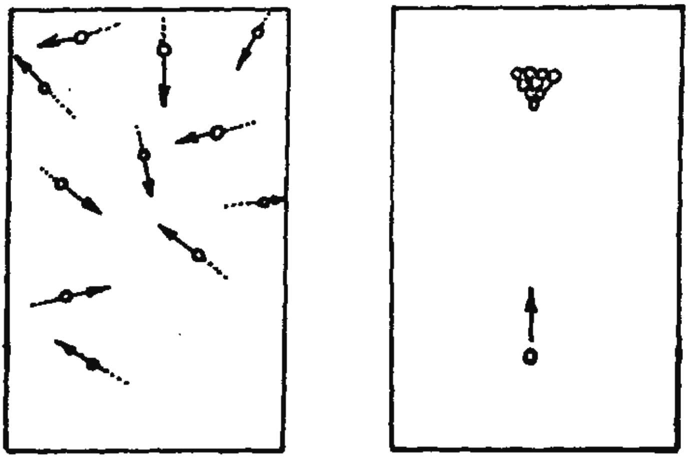
وهذا يعنى أن التناظر الزمنى للتدخل الخارجى ان هو الا مجرد وهم ، وينبغى لنا أن نعرف كيف تكون هذا الخليط (٩٠٪ و ١٠٪) فى بداية الأمر •فلو كان هذا الخليط قد تكون بموجة خلل عارضة لما كان هنـــاك وجه للغرابة فى أن ننتهى بخليط ٩٠٪ وأن نبدأ بخليط ٥٠٪ و ٥٠٪ بشرط أن يتم رفع الجدار واعادته عشوائيا • أما لو كان الغاز قد وضع فى الصندوق بهذه الحالة قبل بداية التجربة ، فلا وجود للتناظر الزمنى • ولو كانت حالة الغاز فى بداية التجربة حالة عشوائية فالاحتمال كبير أن تتجه الانتروبيا الى التزايد •

وتبرز الآن عدة أسئلة هى : لماذا يسمح العالم الخارجى أصلا بتكون هذا الخليط غير المتوازن (٩٠٪ و ١٠٪) ؟ ولماذا تتكون المنظومات الفرعية فى حالات انتروبيا منخفضـــة ؟ وعلاوة على ذلك ، لماذا يعد مصـــدر العشوائية الأصلية التى تتســـم بها التحركات الميكروسكوبية فى هذه المنظومات الفرعية ، على هذه الدرجة من الاهمية بالنسبة لما يتصف به مسلكها بعد ذلك من عدم تناظر فى الزمان ؟ والواقع أن هذه الموضوعات الخلابة المتمثلة فى بحث لماذا يتســم الــكون بداية بعدم التوازن فى الديناميكا الحرارية وكيف اكتسبت مكوناته الميكروســـكوبية حركتها العشوائية ، هى موضوعات يدور حولها جدل كثير ، وهى تنتمى فى الواقع لعلم الفلك الذى سنتناوله فى البابين الخامس والسادس •

غير أن بعض المسائل لم تكتمل بعد • فلقد تخيلنا أن المنظومات الفرعية التى انفصلت عن الكون الأرحب قد تحولت الى منظومات معزولة ، وهذا وهم • وقد افترضنا ـ لدواعى التيسير ـ أن نموذج بولتزمان موجود فى وعاء محكم تماما يجعله معزولا كلية عن العالم الخارجى ، ولا وجود لمثل هذه الأوعية فى العالم الحقيقى • ورغم أن بعض المواد تتسم بقدرة عزل عالية ضد التسرب الحرارى ، فان ما تحتويه جدران الوعاء من ذرات ستكون دائما متصلة بالعالم الخارجى ، وبالتالى سوف تتغلغل التأثيرات من المحيط الأرحب عبر هذه الحوائط ، وتبث الخلل فى الجزيئات الموجودة

بالداخل عندما تصطدم بجدران الوعاء · وحتى لو تغاضينا عن ذلك ، فلا يمكن تلافى تأثير قوى الجاذبية التى تولدها الأجسام المحيطة· علاوة على ذلك ، فلا تتصف معظم المنظومات الفرعية بأنها حتى مقفولة فى صناديق معزولة · ومن ثم ، فان السؤال الذى ينبغى أن نتعرض له بالدراسة هو الى أى مدى يتفق هـذا التفـاعل الفرعى المستمر بين المنظومة المعنيـة وسائر الكون مع ما طرحناه من اعتبارات حول المنظومات الفرعية وعدم التناظر فى الزمان ؟ ·

وعلى الصعيد الميكروسكوبى من شأن تأثير هذا الخلل غير المحسوب أن يدمر خاصية العكوسية فى المنظومة · وتتجسد تلك المسألة فى المثال الوارد فى الشكل (٣ ـ ٦) والذى يصور منضدة بلياردو ومجموعة من الكرات· وتمثل الكرات ذرات الغاز بينما تمثل المنضدة الوعاء الذى يحويه· ولسهولة التمثيل سوف نتغاضى هنا عن عامل الاحتكاك · وتتخذ الكرات فى البداية هيئة مثلث كما هو مبين فى الشكل (أ) باستثناء الكرة التى



أ قبل　　　　ب بعد

شكل ٣ ـ ٦

الشكل ٣ ـ ٦ : من النظام الى الفوضى · الانتقـال من النظـام الى الفوضى مسألة عادية ، ولكن قد نتصور شخصا بارعا بمقدوره ان يعكس اتجاه هذا الانتقال بان يقلب على التو حركة كل الكرات · فى هذه الحالة ستعود الكرات الى الوضع (أ) من الوضع (ب) ، فكيف تعرف هذه الكرات طريق عودتها ؟ ولكن لما كانت المنظومة مغلقة ، فان كل المعلومات الخاصة بالوضع (أ) ما زالت ماثلة فى مواقع وتحركات كل واحدة من الكرات فى الوضع (ب) · غير انه لو كانت جوانب منضدة البلياردو ضعيفة وتهتز نتيجة اصطدام الكرات بها ، فان خاصية العكوسية ستنهار ·

يدفعها لاعب البلياردو صوب المثلث • ويتحول الوضع بعد لحظات الى ما نراه في الشكل (ب) ويتمثل في فوضى عشوائية حيث تتحرك الكرات وتتصادم وتنتشر في اتجاهات شتى على منضدة البلياردو • ويعد ذلك في حد ذاته بيانا آخر للمبدأ العام الخاص بزيادة الانتروبيا • ونلاحظ أن الوضع الأصلي المنظم (أ) قد أفسح المجال للوضع الفوضوى (ب) • وكالمعتاد ، فان العودة من (ب) الى (أ) تعد عملية بالغة الصعوبة • ومع ذلك، فقد تتحقق تلك العودة لو كانت هناك وسيلة لقلب حركة الكرات كلها على التو بأن يوضع على سبيل المثال حاجز مرن في طريق تحرك كل كرة بحيث يعيدها بدقة على المسار ذاته • ولو كانت جوانب منضدة البلياردو صلبة ، فسوف تعود كل الكرات الى مكانها تماما على هيئة المثلث وترجع الكرة المدفوعة أيضا الى وضعها في الطرف الآخر من المنضدة • ان مثل هذا المسلك يتفق تماما مع خاصية التناظر الزمني التى تتسم بها قوانين الميكانيكا •

ولناخذ في الحسبان الآن تاثير الخلل الخارجي ، وذلك بنعتبر أن جوانب منضدة البلياردو ، التى تمثل حوائط وعاء الغاز ، سوف تهتز قليلا وبشكل عشوائي نتيجة ارتطام الكرات بها • ولندرس الآن ما سيحدث عند اعادة التجربة • سوف تتجه الكرة المدفوعة لترتطم بالمثلث • وبعد لحظات سيبدو الوضع مماثلا للشكل (ب) ولكنه ليس كذلك ، حيث انه فى كل مرة ترتطم فيها احدى الكرات بأحد الجوانب المهتزة للمنضدة ، اما ستكتسب مزيدا من الدفع واما ستفقد بعضا من قوة اندفاعها • واذا لم يكن هناك اختلاف ملموس بين هذا الوضع والشكل (ب) نظرا لحالة الفوضى والعشوائية التى تتسم بها حركة الكرات ، فان هذا الفارق سيتجلى على الفور لو تحققت الحركة العكسية • فسوف يكون من نتيجة اهتزاز جوانب منضدة البلياردو ألا تعود الكرات على نفس مسارها السابق الا فى آخر مشوار قطعته بعد الارتطام بأحد جوانب المنضدة • وعندما سترتطم الكرة بنفس هذا الجانب في مشوار العودة سوف يتغير اتجاهها قليلا ولكن بقدر كاف ليتغير الاطار الشامل لحركة الكرات كلها • وكم هو ضئيل الاحتمال بأن تعود الكرات فى نهاية رحلة الاياب الى موقعها الأصلي على هيئة مثلث ! •

وتوصف أحيانا المنظومة الميكانيكية المعزولة تماما ، والتى من شأنها أن تعود الى حالتها الأصلية عن طريق تسلسل معكوس للحركة ، بتصوير جميل حيث يقال ان المنظومة « تتذكر » حالتها الأصلية • وفى المثال المذكور ، يرتهن امكان عودة الكرات الى وضعها الأصلي ، بكافة ما « تحتفظ » هذه الكرات من معلومات ضرورية لبناء تشكيلها السابق

المنظم · وستظل المنظومة تحتفظ بهذه المعلومات ما بقيت معزولة عن العالم الخارجي · ولكن ما أن تتدخل الحركة العشوائية لجوانب المنضدة ، فان هذه المعلومات ستنتقل الى العالم الأرحب وتتلاشى · وللحصول على حركة عكسية سليمة فى الحالة الأخيرة لابد من الأخذ فى الحسبان بتأثير ارتطام الكرات بجوانب المنضدة وتعديل مسار العودة بحيث يتم أيضا عكس كل عوامل الخلل التى تجعل جوانب المنحدة تتذبذب · ويتسم هذا « الفقدان البطيء للذاكرة » فى المنظومات الحقيقية بأنه لا عكوسى وأيضا غير متناظر فى الزمان ·

ويطلق على مظاهر الخلل العشـــوائية من ذلك القبيل اســـم « الضوضاء » (noise) · وما من منظومة حقيقية الا وتتعرض للضوضاء نتيجة اتصالها بالكون الخارجي · ولم تؤخذ هذه « الضوضاء الكونية » فى الاعتبار عند مناقشة نظرية بولتزمان ولا حتى عند مناقشة المنظومات الفرعية ، حيث لم يتبد أن مسلك هذه المنظومات غير المتناظر فى الزمان مرهون بالاعتبارات المتعلقة باتصالها الضعيف والمستمر بالمحيط الخارجي ، وانما يعتمد هذا المسلك على التدخل المفاجيء الحاد من جانب العالم الخارجي فى عملية التكوين ذاتها ·

ويقال أحيانا ان عدم التناظر الزمنى الذى يتبدى عند تطبيق نظرية (H) على المنظومات الفرعية هو مجرد وهم · واذا كنا نقـــول ان خليط ال ٥٠٪ ، ٥٠٪ فى الشكل (٣ ـ ٣) يتسم بدرجة انتظام أقل من الخليط ٩٠٪ و ١٠٪ فانما يرجع ذلك الى عجزنا عن رؤية التحركات الفردية لجزيئات الغاز · وبالتالى فان عدم التناظر الزمنى الناجم عن عملية الخلط ما هو الا نتيجة مستوى الادراك المحسوس (macroscopic view) الذى يحد الانسان · ولذلك يتحفظ بعض الناس على خاصية عدم التناظر ويقولون انها وهمية تماما وتأتى نتيجة القدرة البشرية المحدودة وليست واحدة من ظواهر الطبيعة · وثمة ادعاء يفيد بأن حالة عدم التنـــاظر « الصحيحة » الوحيدة هى تلك الناجمة عن الخلل العشوائى المستمر للضوضاء الكونية ، لأن هذا الخلل يسبب لا عكوسية « حقيقيـــة » على المستوى الذرى ·

ولو حدث أن تحول غاز دفعة واحدة من خليط ٩٠٪ ، ١٠٪ الى خليط ٥٠٪ ، ٥٠٪ ، فان اختبار الحالة النهائية للغاز لن يوحى لنا بأن الغاز كان قبل قليل مختلطا بنسبة ٩٠٪ و ١٠٪ ، وذلك لأنه من شأن أية حالة سابقة (بما فيها حالة التوازن) أن تتحول بعد برهة الى خليط ٥٠٪ ، ٥٠٪ على نحو ما رأينا · لقد ضاعت اذن ـ على المستوى المحسوس ـ المعلومة المتعلقة بالحالة الأصلية للغاز · أما على المســتوى الميكروسكوبى ·

فمازالت المعلومة موجودة وكامنة فى التحركات الفردية للجزيئات ، شريطة أن تكون المنظومة معزولة تماما بالطبع · ونستنتج من ذلك ، وفقا للمنطق العكسى ، أن أية منظومة معزولة تماما لن تصل مطلقا الى حالة توازن حقيقية وانه ليس هناك عدم تناظر « حقيقى » · ولن يتحقق أى توازن « حقيقى » الا اذا دمرت الضوضاء الكونية كل المعلومات بما فيها المعلومات الميكروسكوبية ·

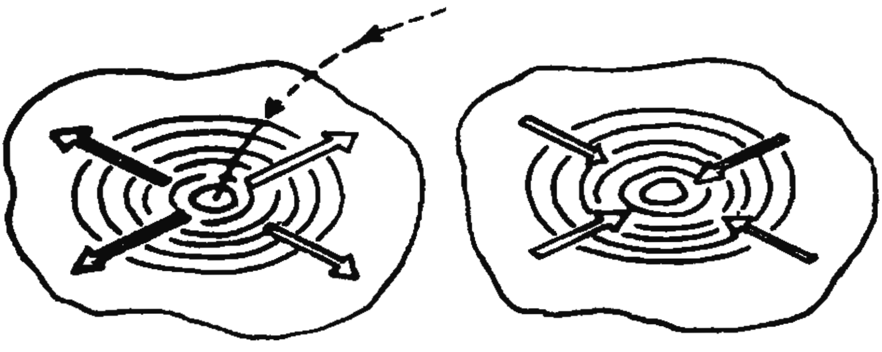
وقد نتساءل ـ كرد فعل مباشر لوجهة النظر العكسية هذه ـ هل هناك جدوى حقيقية لمسـألة التمييز برمتها بين التوازن « الحقيقى » « والظاهرى » ومسألة عدم التناظر فى الزمان ؟ فمن شأن أى غازين غير مخلوطين أن يواصلا الانمماج سواء أكانت هناك ضوضاء كونية أم لا ، وكل ما هو مطلوب هو محاولة ايجاد تفسير لهذه الظاهرة ، وهذا التفسير توفره نظرية (H) لبولتزمان بالتكامل مع افتراض بشأن المنظومات الفرعية المكونة عشوائيا · ولا يبدو أن وجود عدم تناظر « حقيقى » ، مثل ذلك المنسوب للضوضاء الكونية ، سيكون له تأثير بالغ فى علم الفيزياء · ويوفر ما أوردناه آنفا من شرح تفسيرا جيدا لما لدينا من معلومات على المستوى المحسوس عن العالم بما تتضمنه من انطباع قوى بوجود عدم التناظر ، حتى لو كان ذلك مجرد وهم على المستوى الذرى (الميكروسكوبى) · وما الاعتراض على ذلك الا مسألة فلسفية بحتة ، ولا يبدو أن له تأثيرا يذكر فى علم الفيزياء ·

٣ ـ ٥ عدم التناظر الزمنى والحركة الموجية

ولقد اقتصرت المناقشة فى هذا الباب حتى الآن على مفهوم عدم التناظر الزمنى فى علم الديناميكا الحرارية · غير أن هناك ظواهر مهمة أخرى تتسم بعدم التناظر ، ولا يبدو من وصفها أنها على علاقة مباشرة بالديناميكا الحرارية ، رغم أن شرح معنى عدم التناظر بمزيد من التعمق قد يرتبط بسمة عدم التناظر فى الديناميكا الحرارية ·

ويتجسد واحد من الأمثلة المألوفة لظاهرة عدم تناظر زمنى بعيدة عن الديناميكا الحرارية ، فيما يحدث عندما يلقى شخص بحجر فى بركة ماء · ويتمثل شكل الخلل الناجم عن ذلك فى مجموعة من الدوائر المنتشرة للخارج من نقطة سقوط الحجر وحتى جوانب البركة · أما الوضع المعكوس وهو أن تتكون موجات خلل دائرية ذاتية عند جوانب البركة وتنكمش فى اتجاه نقطة مشتركة ، فلا يبدو مطلقا أنها عملية قابلة للتحقق ، بشكل لحظى على الأقل ·

وتتكرر خاصية عدم تناظر الحركة الموجية هذه في عدد كبير من أفرع الفيزياء ، ومنها على سبيل المثال انتشار موجات الراديو · فمن شأن الموجات اللاسلكية أن تصل دائما بعد ارسالها ، وليس قبل ذلك مطلقا ، فهي تنتشر للخارج من جهاز الارسال الى الكون وليس العكس ·



(أ) (ب)

الشكل ٣ ـ ٧ : الحركة الموجية المؤخرة والمقدمة · لو ألقى حجر في بركة ماء ساكنة فسوف يولد موجات تنتشر للخارج · وتسمى هذه بالموجات المؤخرة (أ) · وهناك في المقابل الموجات المقدمة (ب) ، وهي ـ وان كانت شيئا ليس من الوارد مصادفته مطلقا ـ تحدث عندما تتضافر عوامل الخلل في اماكن متفرقة بعيدة في البركة وترسل موجات منتظمة تتحرك للداخل صوب المركز ·

ويطلق الفيزيائيون على هذا النوع من الحركة الموجية ، الذى تنتشر فيه موجة الخلل من المركز الى الخارج ، اسم الحركة الموجية « المؤخرة » retarded wave motion لأن موجة الخلل تصل الى أية نقطة بعيدة بعد فترة تأخير نتيجة انتشارها عبر المكان·أما الوضع المعكوس من حيث الزمان ـ والذى تمر فيه موجة الخلل بالنقط البعيدة قبل أن تنكمش وتصل الى المركز ـ فهو يسمى الحركة الموجية « المقدمة » advanced wavemotion غير أن هناك نقطة غامضة تتمثل في أن قوانين الانتشار الموجي ذاتها لا تميز بين النوعين · فلو طبقنا على سبيل المثال معادلات ماكسويل بخصوص الموجات الكهرومغناطيسية ، فسنجد أنها تعطي حلين سليمين ، أحدهما للموجات المؤخرة والآخر لتلك المقدمة · بيد أنه يمكن استبعاد الحل الخاص بالموجات المقدمة بأن ندعي ان الظروف في الفضاء البعيد لا تلائم عملية تولد موجة خلل تتقدم للداخل · ولكن لم لا ؟ وهذا سؤال لم يحدث مطلقا ان أجمع علماء الفيزياء على اجابة واحدة عليه ·

ولكن لعلنا أولا نختار وضعا يوحي بامكان ايجاد اجابة واضحة على هذا السؤال • ففي حالة بركة الماء ، نحن بصدد منظومة محدودة الأبعاد • ولو فكرنا بنفس الطريقة التي تناولنا بها نموذج الغاز لبولتزمان سنقول انه لدينا الآن نموذج لبركة ماء معزولة عن العالم الخارجي وأيضا معزولة عن تأثيرات الديناميكا الحرارية المتمثلة في المقاومة الناجمة عن لزوجة الوسط وما الى ذلك من العوامل التي تضفي مزيدا من التعقيد على المسألة • ومن الوارد في مثل هذه المنظومة النموذجية أن تحدث كل أنماط الحركة الموجية بما فيها الحركة العكسية أو الحركة المقدمة (بعد مرور الوقت الكافي لذلك) • غير أن الخلل السطحي سيتسم في معظم الوقت بالفوضى وعدم الانتظام ـ أي انتروبيا عالية ـ لدرجة أننا قد نفكر في أن هذه هي حالة التوازن بالنسبة لبركة الماء •

اذن ، فمن شأن بركة الماء المعزولة أن يكون مسلكها متناظرا من حيث الزمان ، تماما مثل حالة صندوق الغاز المعزول • ولكن برك الماء الحقيقية ليست معزولة ، ولو ألقينا حجرا من الخارج عليها فسوف تتحول الى منظومة فرعية تماما مثلما نضع قطعة من الثلج في كوب به ماء يغلي • ومرة أخرى ، لو ألقيت الحجر بشكل عشوائي فمن شبه المؤكد أنه سيولد حركة موجية مؤخرة لأنه من شبه المستحيل أن ينصادف أن تتخذ أية موجة خلل موجودة في اطار الحركة العشوائية العامة السائدة في البركة ، شكلا موجيا معينا في ذات اللحظة التي تلقى فيها الحجر •

غير أن تلك الاعتبارات المتعلقة بالمنظومات الفرعية تنهار عندما يتضخم حجم المنظومة بغير حدود • فلو انفتح صندوق الغاز على فراغ لا نهائي في حجمه ، فسوف يتبخر الغاز ولن يعود مطلقا • وليس من الوارد أن تعود مطلقا الموجات اللاسلكية لو أرسلت الى فضاء بلا حدود ولم تصطدم « بحافة بركة » • ويمثل هذا التبدد غير المحدود للموجات والجسيمات نوعا جديدا من عدم التناظر الزمني اللاعكوسي والذي يحتاج تفسيرا جديدا • وبديهي أن مثل هذا التفسير لا يمكن أن يقوم على اعتبارات « محلية » • والسؤال المطروح هنا هو لماذا لا تتيح الظروف السائدة في الأماكن البعيدة في الكون تولد موجات لاسلكية أو سحب ذرات ضامة converging • وقد يبدو احتمال وقوع مثل هذا الحدث الغريب ـ كأن نجد موجة راديو تنتشر « للخلف » من حافة الكون ـ أمرا يثير ضحك القارىء أو سخريته وبالتالي تبدو محاولة تفسير عدم وقوعه مسألة عبثية سخيفة • ولكننا سنرى أن العوامل المقيدة التي تحكم مثل هذه الأحداث الغريبة قد تشكل قيودا صارمة على نوع الكون الذي نعيش فيه • علاوة

على ذلك فمن شأن بعض نماذج الأكوان ، التى تحمل أوجه تشابه مع كوننا ، أن تسمح من وقت لآخر بوقوع مثل هذه الأحداث الغريبة ·

ولقد أسفرت الدراسات المتعلقة بأصل مسألة تكون المنظومات الفرعية وبما تتسم به الحركة الموجية اللانهائية من عدم تناظر لا عكوسى ، عن التوصل الى بعض الاعتبارات بشأن الخصائص العليا للكون · وقبل أن نورد التفسيرات المنطقية لهذه المسائل (فى الباب السادس) ، ينبغى أن نصف أولا ما توصلنا اليه حاليـا من معلومات عن نشأة الكون وبنيته وتطوره · ولكن يتعين أن نفهم فى البداية طبيعة الجاذبية ·

الباب الرابع

الجاذبية واعوجاج نموذج المكان - الزمان

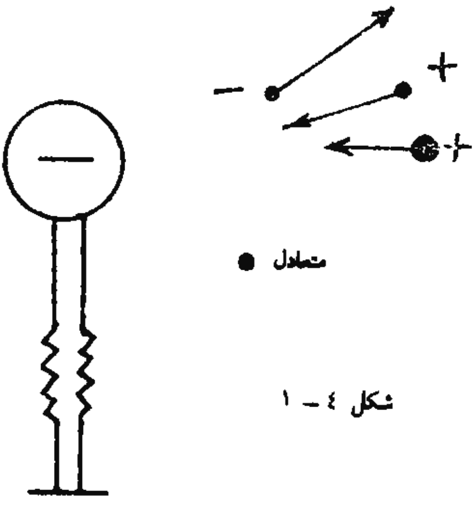
٤ ـ ١ الفيزياء الخاصة بجسم في حالة سقوط

وتشكل نسبية الحركة المنتظمة حجر الأساس لكل من نظرية نيوتن للميكانيكا ونظرية اينشتين للنسبية الخاصة ، وهي ترتهن بصورة جوهرية بوجود أطر مرجعية راسية (inertial frames of reference) · وتفيد هاتان النظريتان بأن كل المنظومات المتحركة بسرعة منتظمة تعد متكافئة من حيث الميكانيكا · ووفقا لقانون نيوتن الثاني (وأيضا نظرية اينشتين العامة المستمدة منه) لا يمكن الغاء العجلة وبالتالي لا يمكن تحقيق الحالة الخاصة المتمثلة في الحركة المنتظمة ، الا بالتخلص من تأثير كل القوى التي تتعرض لها المنظومة المتحركة · ومن ثم يتوقف وجود الاطار المرجعي الراسي على القدرة على امكان تحقيق حالة حركة متحررة من أية قوة ، من حيث المبدأ على الأقل ·

ويشتمل علم الفيزياء الحديث على أربعة أنواع من القوى الطبيعية · ويؤثر أقوى واحد من هذه الأنواع ـ وهو يحمل اسم « التفاعل القوى » (the strong interaction) ـ فيما بين جسيمات النواة الذرية بحيث يجعلها ملتصقة ببعضها ، وذلك يعني أن مجال تأثيره قصير للغاية ويقارب ١٠−١٣ سم · ويعمل النوع الثاني ـ وهو أضعف من الأول ويسمى « التفاعل الضعيف (the weak interaction) ـ على نطاق قصير للغاية فيما بين جسيمات دون ذرية كذلك وله تأثيرات عديدة منها أشعة بيتا · وليس لأي من هذين النوعين من القوى أي تأثير على حركة الأجسام المحسوسة Macroscopic ، وعلى أية حال لم يكن أي منهما معروفا عندما اكتشف اينشتين النسبية الخاصة ·

أما النوعان الآخران من القوى ، وهما الكهرومغناطيسية (Electromagnetism) والجاذبية (gravity) فهما يؤثران على الأجسام الكبيرة · ولا يمكن أن تتحقق الحركة المنتظمة في ظل وجود هاتين القوتين· ولندرس كيف يمكن في الواقع تحديد ما اذا كانت منظومة ما تتعرض لمثل هذه القوى أم لا · فلو مرت جسيمات تحمل شحنات كهربية في مجال كهربي،فسوف تتعاجل بمعدل يتناسب عكسيا مع كتلتها·ويمكن الاستدلال على وجود مثل ذلك المجال الكهربي بدراسة مسلك أنواع مختلفة من

الجسيمات ، فمن شأن الجسيمات التى تحمل شحنات موجبة أن تتعاجل فى المجال الكهربى وتحت تأثيره ، فى عكس اتجاه تلك التى تحمل شحنات سالبة · أما الجسيمات المتعادلة كهربيا (مثل الذرات العادية التى تشتمل على عدد متساو من الشحنات الموجبة والسالبة) فهى لا تتعاجل على الاطلاق · وعلاوة على ذلك ، فمن شأن الأجسام الأكبر كتلة والتى تحمل نفس الشحنة الكهربية أن تتعاجل بمعدل أبطأ بسبب الزيادة فى قصورها الذاتى · ونستنتج من ذلك أنه يمكن تحرير منظومة ما من تأثير القوى الكهربية عن طريق معادلتها كهربيا أو زيادة كتلتها بدرجة كبيرة ، أو بعبارة أخرى عن طريق تقليص نسبة الشحنة الكهربية/الكتلة الى قيمة ضئيلة يمكن اهمالها · ويمكن أن نختبر بشكل مباشر طبيعة مثل هذه المنظومات من حيث مدى تحررها من القوى الكهربية عن طريق اجراء التجارب المذكورة آنفا على جسيمات اختبار متعادلة وأخرى تحمل شحنات كهربية متباينة ·

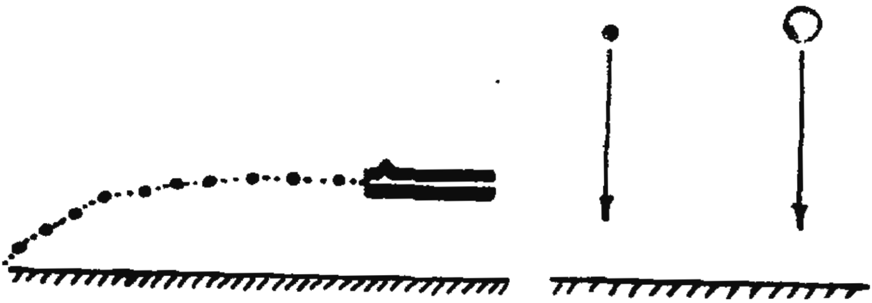


شكل ٤ ـ ١

الشكل ٤ ـ ١ : الحركة تحت تأثير القوى الكهربية · من شأن الجسيمات المختلفة أن تتحرك بشكل متباين فى المجال الكهربى · تجتذب الكرة التى تحمل شحنة سالبة الشحنتين الموجبتين المتساويتين ، بقوة واحدة · ولكن الشحنة الاخف وزنا تتعاجل بمعدل اسرع من الاخرى بسبب قلة قصورها الذاتى · ويمكن للنسبة بين الشحنة والقصور الذاتى أن تتغير بشكل كبير ، بل قد تأخذ قيمة سالبة (بحيث تنفر الجسيم) او تساوى صفرا (بالنسبة للجسيمات المتعادلة) · ويمكن دائما الاستدلال على وجود مجال كهربى فى موقع ما فى الفضاء ، بغض النظر عن حالة حركة المراقب ، عن طريق اطلاق شحنات اختبار متنوعة ·

غير أن مثل هذه الاستراتيجية لا تصلح بالمرة في حالة الجاذبية . فلو أجرينا تجربة مماثلة على حركة جسيمات اختبار تحت تأثير الجاذبية فسنكتشف ان كل الجزيئات تسقط لأسفل . ولا يوجد شيء معروف يمكن أن يسقط « لأعلى » أو يرتد من سطح الأرض نتيجة الجاذبية . وتتميز الجاذبية بأنها تبعث دائما على تجاذب الأجســـام ولا تؤدى مطلقا الى تنافرها . وبعبارة أخرى تتسم دائما شحنة الجاذبية بأن لها اشارة واحدة على عكس الشحنة الكهربية التى يمكن أن تكون موجبة أو سالبة . وليس هناك ما يسمى بالجاذبية المضادة بمعناها المباشر الا في الخيال العلمى . ورغم ذلك يمكن أن نستدل على وجود قوى جاذبية تؤثر على منظومة ما لو تحركت أجسام مختلفة بعجلة متباينة تحت تأثير الجاذبية . ويمكن أن تتحقق حالة الحركة الحرة لو أمكن أن تتقلص نسبة شحنة الجاذبية الى كتلة الجسم .

ويمكن بسهولة تحديد المعدل الذى تسقط به الأجسام المختلفة ، فما علينا الا أن ندعها تسقط تحت تأثير الجاذبية الأرضية . ويتردد أن جاليليو أجرى هذه التجربة من برج بيزا المائل . وعلى أية حال ، فلقد كان هو أول شخص يكتشف هذه الظاهرة التى تتوازى فى أهميتها مع النتيجة التى توصل اليها مايكلسون ومورلى ومفادها أن كل الأجسام تسقط بعجلة واحدة . ويرى معظم الناس ان هذه النتيجة تتعارض مع الاحساس الفطرى ، حيث يبدو دائما أن الأجسام الثقيلة ينبغى أن تسقط بمعدل أسرع من الأجسام الخفيفة . ولكن الأجسام الثقيلة تتسم بأنها أكبر كتلة وبالتالى فهى أصعب فى تحريكها . وقد اكتشف جاليليو أن الخاصيتين ــ ثقل الجسم وقصوره الذاتى ــ تتكافآن تماما ، فالجاذبية الأرضية تجذب الصخرة بقوة أشد من تلك التى تجذب بها حصاة ولكن رد فعل الحصاة يأتى أسرع من رد فعل الصخرة ، والنتيجة ، التى يمكن أن يلمسها القارىء بسهولة ، هى أن الصخرة والحصاة تصلان الى الأرض معا ، لو أسقطنا بالطبع معا (شكل ٤ ــ ٢) . وقد يبدو أن الريشة أو البالونة تناقض مبدأ جاليليو ، غير أن ذلك يرجع الى عامل المقاومة الهوائية ولا علاقة له بطبيعة الجاذبية . ولقد كان ذلك هو الانجاز الذى حققه جاليليو ، وهو أن يعزل الخاصية العامة المهمة للجاذبية عن عامل المقاومة الهوائية الذى لا يمت لها بصلة رغم أنه ذو تأثير لا يستهان به .



الشكل ٤ ـ ٢ : الحركة تحت تاثير قوى الجاذبية ·من شأن الأجسام المختلفة ، مهما كانت متباينة ، ان تهوى بنفس الطريقة تحت تاثير الجاذبية فلو اسقطنا جسمين احدهما خفيف والاخر ثقيل من ارتفاع واحد ، فسيصلان الى الارض معا (الشكل ١) · وفى الشكل (ب) نجد دانات خفيفة وأخرى ثقيلة تنطلق من مدفع واحد بسرعة واحدة ، ويتماثل مسار الدانات الثقيلة (النقط الكبيرة) مع مسار الدانات الخفيفة (النقط الصغيرة) · غير أن هذه النتائج تعد تقريبية نظرا للمقاومة الهوائية ·

ولا يمكن الاستدلال على وجود الجاذبية فى موقع ما فى الفضاء عن طريق اسقاط جسيمات اختبار متنوعة ، ويدل على ذلك ان المسارات المنحنية فى الشكل (ب) قد تنجم عن تاثير الجاذبية او قد تنجم عن تحرك المراقب لأعلى بعجلة تساوى قيمة الجاذبية ·

وقد روجعت نتائج جاليليو بعد ذلك بواسطة رولاند فون ايتفوس Roland von Eötvös (مجرى ، ١٨٤٨ ـ ١٩١٩) فى عام ١٨٨٩ ثم بواسطة روبرت ديك Robert Dickeفى عام ١٩٦٤ ووصلت درجة الدقة فى المراجعة الى جزء من مليون مليون جزء · ولعل أفضل طريقة للتعبير عن مضمون هذه النتائج هى أن نقول بأن النسبة بين شحنة الجاذبية والكتلة نسبة ثابتة لا ترتهن بطبيعة الجسم الساقط ، وهذا يعنى أن شحنة الجاذبية والكتلة تعدان بالفعل خاصيتين طبيعيتين متكافئتين للجسم · ولهذا السبب كثيرا ما يطلق على مبدأ جاليليو اسم « مبدأ التكافؤ » أو (The principal of equivalence) · ويقضى مبدأ التكافؤ فى صيغته العامة بأنه من شأن كل جسيمات الاختبار (*) أن تتحرك على مسار واحد تحت تأثير الجاذبية · وبالتالى ليست هناك وسيلة للاستدلال على وجود الجاذبية

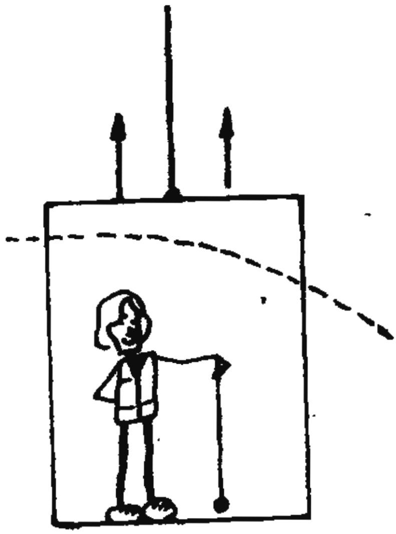
(★) يقصد بجسيات الاختيار فى هذا السياق الجسيمات التى تتسم بدرجة من الضالة بحيث يمكن اهمال تاثير جاذبيتها الخاصة على الحركة ·

عن طريق دراسة المسلك الخاص لأنواع مختلفة من جسيمات الاختبار على غرار ما يحدث في المجالات الكهربية · وليس هناك شيء يمكن أن يقال انه متعادل أو غير قابل للتأثر بالجاذبية بحيث يمكن اعتباره مرجعا تقارن به المنظومات لتحديد ما اذا كانت واقعة تحت تأثير أية قوة جاذبية أم لا ·

وقد يتناسب مع المنطق البسيط أن نعبر عن مبدأ التكافؤ بقولنا ان شحنة الجاذبية تعادل من حيث الكم قوة الجاذبية بينما يعادل الثقل قوى القصور الذاتي الناجمة عن الحركة المتعاجلة · وتتوازى المطابقة بين هاتين الكميتين مع القول بأن هناك تكافؤا طبيعيا بين قوة الجاذبة وقوة القصور الذاتي · ويمكن الاستدلال على مثل هذا التكافؤ بالتجربة العملية · فمن شأن قوة الطرد المركزى في حالة دوامة الخيل أن تولد نفس الشعور الناجم عن قوة الجاذبية (بخلاف أنها تؤثر بشكل أفقي) · ولذلك جرت العادة على أن يطلق الفنيون العاملون في مجال الفضاء على قوى الطرد المركزى اسم « الجاذبية الاصطناعية » artificial gravity ، لأنهم يستخدمون محطات الفضاء الدوارة في توليد جاذبية تعادل في قيمتها الجاذبية الأرضية ، وذلك بهدف تهيئة المناخ لرواد الفضاء في هذه المحطات للعمل في ظروف طبيعية · وتعد فكرة الطرد المركزى وسيلة لتوليد قوة جاذبية بالغة تعادل بضعة أمثال قوى الجاذبية الأرضية ·

ولكن ، وعلى النقيض من ذلك ، لا يمكن التمييز محليا بين جاذبية الأرض وتأثير حركة متعاجلة مكافئة لها · فلن يكون بوسع شخص موجود داخل صندوق مغلق غير شفاف ، أن يميز بين ما اذا كان ساكنا على سطح الأرض أم متحركا لأعلى بعجلة تساوى عجلة الجاذبية (جـ) في الفضاء الخارجي حيث لا يوجد تأثير يذكر للجاذبية الأرضية ·

ومثلما أنه يمكن استخدام العجلة لمحاكاة قوى الجاذبية يمكن أيضا أن تتلاشى الجاذبية بسبب العجلة ، وهذا على وجه التحديد هو الوضع الذى يشعر به المرء في منظومة ما في حالة سقوط حر free fall · فلو سقط على سبيل المثال الصندوق المحكم المذكور آنفا ، من على قمة جبل ، فلن يشعر الشخص التعس الجالس داخله بالجاذبية مادام الصندوق قد سقط بكل محتوياته ، حيث انه هو ، وكل شيء من حوله في الصندوق ، سيسقطون بنفس المعدل مثل الصندوق ، وذلك وفقا لمبدأ التكافؤ · وسيشعر الشخص الموجود داخل الصندوق أنه في مكان خال من الجاذبية وكل شيء يسبح من حوله بلا معاجلة بالنسبة للصندوق ، أى في حالة انعدام وزن · وبالتالي فلا مجال لأن يشعر ساكن الصندوق بوجود الأرض أو جاذبيتها مادام الصندوق في حالة سقوط حر ، ولكنه سيعرف بالطبع كل شيء عن وجود هذه الأرض عندما يرتطم الصندوق بسفح الجبل ويتعرض لأنواع من القوى ليست ناجمة عن الجاذبية ·

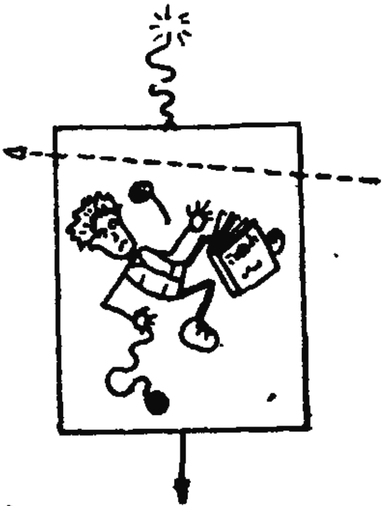


الشكل ٤ ـ ٣ : مبدأ التكافؤ · لو ان هناك صندوقا متحركا لأعلى بعجلة تساوى (ج) بعيدا فى الفضاء الخارجى حيث يمكن اهمال تأثير الجاذبية الارضية ، فسوف يشعر الشخص الموجود داخل الصندوق بوزنه الطبيعى ، وبالتالى لن يخطر على باله شىء سوى انه يقف على سطح الارض· وهناك مشاهدات محلية اخرى تؤدى الى نفس الانطباع · فمن شأن الفادن (وهو الأداة المستخدمة لاختبار الاستقامة الراسية للبنـاء) أن تتجه قطعة الرصاص فيه لاسفل صوب الارض · ولو اطلقت قذيفة وسارت فى خط مستقيم بسرعة منتظمة فسوف تخترق الصندوق فى مسـار منحن لأسفل · وهذا يعنى بجميع المقاييس ان قوى القصور الذاتى الناجمة عن الحركة المتعاجلة تتكافأ مع قوة الجاذبية · غير أن المشاهدات على نطاق أوسع تكشف عن وجود وجه للاختلاف بين القوتين · فالجاذبيـة تنجم عن وجود جسم قريب (مثل الارض) ، أما قوى القصور الذاتى فليست بحاجة لذلك ·

لاحظ أن الخط المتقطع يمكن أيضا أن يمثل مسـار شعاع ضوئى · وهذا يعنى أن الجاذبية تؤثر ايضا على مسار الضوء ·



شكل ٤ ـ ٤



ب ا

الشكل ٤ ـ ٤ : السقوط الحر للاطر المرجعية · من نتائج مبدأ التكافؤ ان التاثير المحلى للجاذبية ينعدم فى حالة السقوط الحر ·

فى الشكل (١) تسقط كل محتويات الصندوق بسرعة واحدة وبالتالى تظهر لساكن الصندوق كانها معدومة الوزن · اما الأجسام المتحركة ، مثل قذيفة تخترق الصندوق ، فسيبدو انها تسير فى خط مستقيم · ويعتبر أيضا رجل الفضاء فى الشكل (ب) انه فى حالة سقوط حر ولذلك فانه يبدو فى حالة انعدام للوزن · ومن شان العجلة التى يتحرك بها فى مساره المنحنى ان يتلاشى محليا تاثير الجاذبية الارضية ولا يعنى ذلك ان العجلة غير موجودة · ويشهد بذلك النيزك الساقط على الأرض فى الشكل (ب) ·

وكان مثل هذا الوضع الوارد فى المثال المذكور آنفا غريبا على الناس ابان أن تحدث اينشتين لأول مرة عنه ، أما اليوم فلقد اعتدنا أن نرى مشاهد لصور مختلفة لانعدام الوزن داخل المركبات الفضائية · فعندما تتوقف محركات الدفع فى الصواريخ حاملة مركبات الفضاء فان المركبة تتحول الى حالة سقوط حر ومن ثم لا يشـــعر ركابها من رواد الفضاء بالجاذبية · ولا يعنى ذلك أن الجاذبية قد تلاشت· ، بل ان تاثيرها يمتد لأبعد من القمر (وأى شيء غيرها يبقى القمر فى مداره حول الأرض ؟) ولكن ليس من شان المنظومة فى حالة السقوط الحر أن تستشعرها · والواقع أن الجاذبية لو قيست على ارتفاع ٢٠٠ كم فوق سطح الأرض ، فلن تقل الا بمقدار ٦٪ عن قيمتها على السطح ، ولكنها تنعدم داخل كبسولة الفضاء بسبب الحركة المعاجلة التى تندفع بها المركبة فى سقوطها الحر متخذة هذا المسار المنحنى · ويمكن القول ببساطة ان الجاذبية الاصطناعية الناجمة عن الحركة « الدوامية » للكبسولة حول الأرض تتعادل تماما مع

الجاذبية الأرضية مما يؤدى الى انعدام الوزن هذا والذى يعد من السمات البارزة لرحلات الفضاء ٠

ولا ينبغى أن يبعث التكـــافؤ بين تأثير كل من الجاذبية والعجلة (عجلة الثقل) على الاعتقاد بأن الجاذبية هى نوع من الوهم يرتهن بالاطار المرجعى المعنى فى كل حالة ، لأن مبدأ التكافؤ هذا لا ينطبق الا بشكل « محلى » فقط ، وهذا يفسر تقيدنا فى المثال بصندوق مغلق ٠ ومن شأن الظواهر الجارية على مســـافات بعيدة أن تبعث على استشعار وجود الجاذبية ٠ فمن سمات الجاذبية أنها تتباين من مكان لمكان ٠ ويمكن اعتبار الجاذبية بمثابة « مجال » ، مثل المجال الكهرومغناطيسى ، ولكنه مجال غير منتظم حيث انه يتغير فى شدته واتجاهه ، ولا يمكن اعتباره منتظما (بدرجات مختلفة) الا فى منطقة محدودة فقط من الفضاء ٠ ويدلل على ذلك أن قيمة الجاذبية تقل كلما ابتعدنا عن سطح الأرض بمســافات كبيرة ، ولذلك فان كبسولة الفضاء التى تدور حول الأرض على ارتفاع ٢٠٠ كم تتم الدورة فى نحو ساعة ونصف الساعة تقريبا بينما يقطع القمر فى سقوطه الحر حول الأرض ، وتحت تأثير الجاذبية الضعيفة على ارتفاع ٤٠٠ ألف كم ، دورته فى ٢٨ يوما ٠ هناك اذن عجلة نسبية كبيرة بين الكبسولة والقمر ، حتى رغم ما يبدو من انعدام الوزن داخل هذا الفراغ الصغير فى الكبسولة ٠ وهذا يعنى أنه لو سنحت الفرصة لأن يتابع رائد الفضـــاء حركة القمر بالنسبة لكبسولته فسوف يستنتج وجـود الجاذبية الأرضية (حتى لو لم يكن بوسعه أن يرى الأرض) ٠ اذن ، فالمشاهدات التى تجرى على مسافات بعيدة فى مجال جاذبية ما ، تنم عن وجود هذا المجال ٠ ويطلق على التغير الذى يطرأ على المجال من مكان لمكان اسم « التأثير المدى » ٠ وتعزى على وجه التحديد ظاهرة المد والجزر فى المحيطات الى ما يطرأ من تغير طفيف على جاذبية القمر عبر الأرض ٠ ولو كانت قوة جاذبية القمر منتظمة ولا تتغير بالمكان لما كان لها تأثير على المحيطات ٠

واذا كنا قد أهملنا التأثير المدى فى مثال الصندوق ، فلأن حجم الصندوق لا يذكر قياسا بالأرض ٠ ومع ذلك لا تتخذ محتويات الصندوق كلها أثناء السقوط مسارات متوازية ، حيث انها تتجه كلها فى الواقع صوب مركز الأرض ٠ ولو وقع الصندوق فى ثقب فى الأرض يصل الى مركزها لوجدنا كل المحتويات تتجمع فى نهاية المطاف عند نقطة المركز ٠ ومن ثم ، فلو كان الشخص الموجود داخل الصندوق قوى الملاحظة فسيستنتج وجود الجاذبية بسبب تزحزح الحطام من حوله (أن بقى هو سليما) ، لمسافة ضئيلة للغاية صوب مركز الصندوق ٠ ولا شك أن التأثير سيكون ضئيلا للغاية ، حيث لو سقط الصندوق من ارتفاع ١٠٠ متر، فلن يكون من

شأن جسمين يبعدان عن بعضهما بمسافة ثلاثة أمتار الا أن يقتربا بمقدار لا يتجاوز بضعة أجزاء من ألف من السنتيمتر ٠

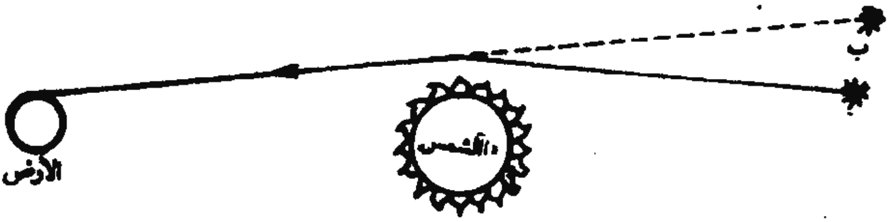
خلاصة القول انه اذا كان المجال الكهربي يمكن اكتشافه باستخدام شحنات الاختبار عند نقطة ، فان التغير في مجال الجاذبية من مكان لمكان هو الشيء الوحيد الذى يمكن أن تكون له دلالة ملموسة على وجود ذلك المجال ٠

ولو عدنا الى موضوع الأطر المرجعية فسنجد ان نيوتن كان يعلم بمسـالة تكافؤ شحنة الجاذبية والثقل ، ولذلك افترض أنه لو كانت هناك منطقة بعيدة عن كل مصادر الجاذبية والكهرومغناطيسية وأنواع القوى الأخرى فانها ستقترب في مواصفاتها من المنظومة المنتظمة في حركتها والمتحررة من القوى ٠ ومن ثم يمكن أن تقام ، على الأقل من حيث المبدأ ، الأطر المرجعية في أى مكان في الكون قياسا بهذه المنظومة البعيدة ٠ ومع ذلك فما زال مفهوم الاطار المرجعي يحمل معنى حقيقيا حيث انه يمكن أن يمتد من المنطقة الخالية من القوى ، عبر الكون كله لو كانت هناك حاجة لذلك ٠ (ولا يعنى بالطبع تعبير « اقامة » اطار مرجعى منين أننـا نشيد هيكلا صلبا من الأعمدة المعدنية وما شابه ٠ ولكنه مجرد اصطلاح رياضى يفيد تحديد نظام احداثيات مرتبط بحالة معينة من الحركة) ٠ ومن ثم ، لو أن هناك جسما بعيدا يتحرك بشكل منتظم في منطقة في الفضاء خالية من القوى ، فان مجرد مراقبة تحركه من الأرض ستكون كافية لتحديد معدل المعاجلة الذى تتحرك به منظومة ما على سطح الأرض والناجم عن كافة أنواع القوى التى تتعرض لها هذه المنظومة بما فيها الجاذبية ٠

ولم يكن المنطق الذى فكر به نيوتن مقبولا لدى اينشتين لانه ، بخلاف أن الجاذبية موجودة في كل مكان في اطار المجال العام للكون ، أدرك انطلاقا من نظريته للنسبية الخاصة ، أنه لا يمكن عقد مقارنة ، ولا حتى من حيث المبدأ ، بين حالة حركة محلية (الاطار المرجعي) ومنظومة تقع على بعد كبير على نحو ما افترضه نيوتن ٠ ويعزى ذلك الى التكافؤ بين الكتلة والطاقـة ، ق = ك ض٢) ، والذى يقتضى أن تكون للضوء كتلة ، وبالتالى سوف يتأثر بفعل الجاذبية تماما مثل سائر الجسيمات المادية ٠ وكان اعوجاج مسار الضوء نتيجة لمجال الجاذبية واحدا من الاستنتاجات الرئيسـية لنظـرية اينشتين ، وقد أثبته عمليـا سير آرثر ادينجتون Arthur Eddington (بريطانى ، ١٨٨٢ ــ ١٩٤٤) خلال خسوف للشمس وقع في عام ١٩١٩ حيث تم قياس مدى انحناء مسار الضوء واتضح أن نتيجة القياس تتفق مع القيمة النظرية التى حسـبها اينشتين (انظر الشكل ٤ ــ ٥) ٠ ولقد ادى تلقائيا اكتشاف تأثر مسار الضوء بالجاذبية ،

الى تقويض فكرة استخدام الاشارات الضوئية لمراقبة حركة منظومة تقع على بعد كبير من منطقة لها مجال جاذبية ، لأن مسار هذه الاشارات لن يكون مستقيما ٠

ونتيجة لتلك المناقشات أدرك اينشتين أن بنية المكان والزمان ــ التى كانت تخضع فى ذلك الحين لمبادئ نظرية النسبية الخاصة ، وكانت لاتزال نظرية جديدة ــ لا يمكن ان تنفصل عن الاعتبارات المتعلقة بالجاذبية، فعكف على العمل محاولا وضع نظرية جديدة للجاذبية لتحل محل نظرية نيوتن التى استمرت سارية بنجاح كبير على مدى قرنين من الزمان ٠



شكل

الشكل ٤ ــ ٥ : الجاذبية تؤدى الى انحناء مسار الضوء ٠ من شأن جاذبية الشمس ان تؤدى الى انحناء مسار الشعاع الضوئى الوارد من النجم البعيد (ا) بحيث يبدو على الأرض وكأنه موجود فى الموقع (ب) ويمكن ملاحظة هذا الانحراف وقياسه فى حالات خسوف الشمس عندما يحجب القمر قرص الشمس بما يفسح المجال لأن تظهر النجوم فى ضوء النهار ٠

٤ ــ ٢ النظرية العامة للنسبية واعوجاج نموذج المكان ــ الزمان بسبب الجاذبية :

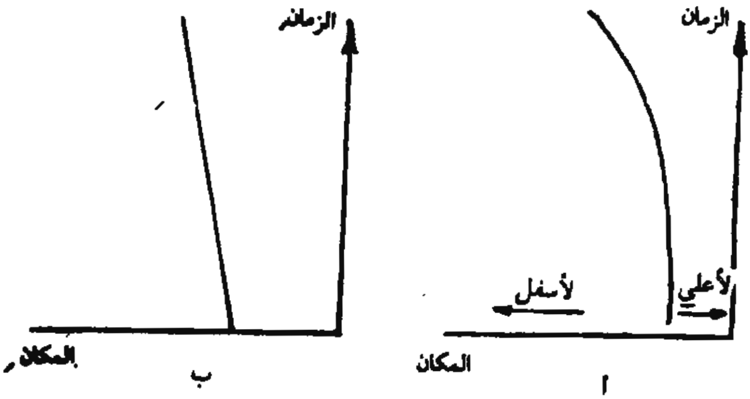
وعندما اكتشف اينشتين مبادئ النسبية الخاصة ، كانت القوتان المستمدتان من الطبيعة ، وهما الكهرومغناطيسية والجاذبية ، تتسمان بوضع مختلف تماما فيما بينهما فى هذه النظرية ٠ فقد كانت الكهرومغناطيسية فى واقع الأمر هى الباعث الأول للنسبية الخاصة ٠ وقد شكلت النظرية محاولة للمواءمة بين مسلك الموجات الكهرومغناطيسية ، مثل الضوء ، والخصائص الميكانيكية للأجسام المتحركة ٠ ومن ثم كانت نظرية ماكسويل للكهرومغناطيسية متفقة بشكل تلقائى مع مبادئ النسبية الخاصة ٠ غير أن الأمر يختلف بالنسبة لنظرية نيوتن للجاذبية ، التى تقوم على امكان أن يكون لقوة ما تأثير فورى عن بعد ٠ وهو مفهوم فقد مضمونه بمجرد اكتشاف نسبية التزامن واتضاح الطبيعة المحدودة لسرعة

الضوء • فكيف يتسنى أن يؤثر تغير في جسم ما على جسم آخر بعيد في اللحظة ذاتها بينما تصد كافة التأثيرات الطبيعية مقيدة بسرعة انتقال لا تتجاوز سرعة الضوء ؟ وما هو الاطار المرجعي الذي تنسب اليه هذه « اللحظة ذاتها » ؟

وقد استدل اينشتين في سعيه من أجل وضع نظرية جديدة للجاذبية تتماشى مع مبادىء النسبية ، بعدة اعتبارات ، أولها أن مصدر المجال الكهرومغناطيسي وفقا لنظرية ماكسويل الناجحة ، هو الشحنة الكهربية ، وهذه الشحنة لا تختلف مهما تغير الاطار المرجعي الذي تقاس منه • وعلى النقيض من ذلك نجد أن كتلة الجسم ، وهي مصدر الجاذبية ، تختلف باختلاف الاطار السندي ـ فلقد رأينا آنفا أن الجسيم يزداد وزنا كلما اقتربت سرعة تحركه من سرعة الضوء • ومن ثم كان نوع المجال الذي يسعى اينشتين الى اكتشافه أكثر تعقيدا من مجال ماكسويل ، فاذا كان من شأن المجال الكهرومغناطيسي أن يولد قوى في اتجاهات مختلفة فان مجال الجاذبية ينطوي حتى على عدد أكبر من المكونات • (وكان نيوتن يختصر هذه المكونات الى قوة واحدة تأخذ دائما اتجاه الخط الواصل بين مركزي ثقل الجسمين) • وتقوم العلاقة بين هذه المكونات الكثيرة للجاذبية على أساس بعض المبادىء الرياضية التي تخرج عن اطار هذا الكتاب •

وقد عمل اينشتين أيضا على أن يدمج في نظريته هذا المبدأ الجوهري المتمثل في التكافؤ ، ولكن باعتباره مبدأ أساسيا وليس مجرد تصادف طبيعي على نحو ما كان ينظر اليه نيوتن • وقد فرغ اينشتين من عمله هذا في عام ١٩١٥ ، وفي العام ذاته نشر نظريته الجديدة للجاذبية ـ وهي النظرية العامة للنسبية ـ في صورتها النهائية • وقد يساعد على فهم النظرية العامة أن نعود الى فكرة الرسم البياني بين المكان والزمان • وفي حالة النسبية الخاصة ، كان الانتباه مركزا على الحركة المنتظمة التي تترجم على هيئة خطوط مستقيمة في الرسم البياني • غير أن هذه الخطوط المستقيمة تشكل فئة مميزة في عالم الخطوط حيث انها تجسد حالة خاصة من الحركة في هذه النظرية •

ولا يمكن في ظل وجود الجاذبية ، بناء أي اطار مرجعي • ومن شأن خطوط المسار أن تنحني تحت تأثير قوى الجاذبية (الشكل ٤ ـ ٦) • ومع ذلك ، الو اهملنا في هذا المقام كل أنواع القوى الطبيعية بخلاف تلك المتعلقة بالجاذبية ، يمكن ايجاد اطار مرجعي يكفل محليا أن تستقيم خطوط المسار ـ ويتحقق هذا الشرط اذا كان الاطار في حالة سقوط حر • وكما رأينا ، تتسم أية منظومة في حالة سقوط حر بأن الجسيمات القريبة



شكل ٤ ـ ٦

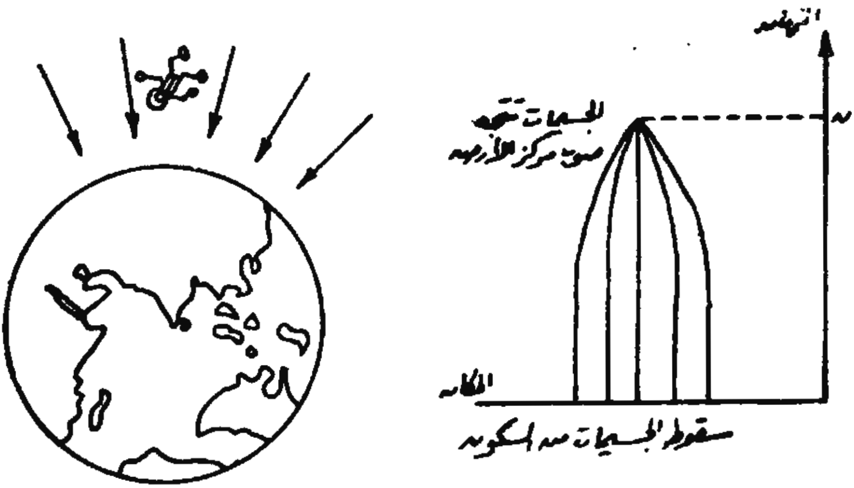
الشكل ٤ ـ ٦ : يوضح الشكل (ا) رسما بيانيا رسمه مراقب واقف على الأرض لجسم في حالة سقوط · ويبين الشكل (ب) الرسم ذاته وقد رسمه مراقب في حالة سقوط · ونلاحظ هنا ، ووفقا لمبدأ التكافؤ ، ان الجاذبية قد تلاشت محليا نتيجة المعالجة التي يتسم بها السقوط الحر ، مما يجعل مسار الجسم الساقط ـ الموازي لمسار المراقب ـ يبدو مستقيما ·

منها تبدو عديمة الوزن بحيث يشكل الرسم البياني للمنطقة الداخلية فى الصندوق الصغير الساقط ، تجسيدا تقريبيا جيدا لحالة النسبية الخاصة ، تقترب فيه الحركة من درجة التماثل مع الحركة المنتظمة · ويمكن القول اذن ان الأطر فى السقوط الحر يمكن أن تحل محل الأطر المرجعية فى النسبية الخاصة كالفئة المميزة من الحركة · غير أن مثل هذه الأطر لا يمكن بناؤها الا محليا ، فلو رسمنا خريطة مكان ـ زمان تمثل منطقة كبيرة في الفضاء، فسوف تظهر فيها بعض العجلات النسبية الصغيرة الخاصة بالجسيمات البعيدة نتيجة رصدها من منظومة معنية هاوية ، وتعزى هذه العجلات الى التأثير المدى المشار اليه فى الفصل السابق · ومن ثم ، فأيا كانت المنظومة الهاوية التى ترصد منها حركة الجسيمات فى المنطقة البعيدة ، من شأن خطوط مسار الجسيمات فى الرسم البيانى أن تزداد انحناء كلما كبر حجم المنطقة المعنية · ولما كانت المسارات تحيد عن الخط المستقيم بدرجة واحدة بالنسبة لكل الجسيمات فهذا يبعث على التفكير فى أنه قد يكون أكثر ملاءمة أن نعتبر الجاذبية ـ التى تسبب هذا الانحناء فى خطوط المسار ـ خاصية من خصائص المكان ـ الزمان ذاته ، بدلا من اعتبارها مجرد نوع من التأثير الواقع عليه ·

وثمة طريقة لرسم خريطة المكان ـ زمان تتسم بقدر أكبر من العمومية بحيث تؤدى الى زوال الانحناء من مسارات الجسيمات ، بمعنى آخر ، أن تمثل الخريطة رؤية أى مراقب فى حالة سقوط حر فى أى مكان بدلا من أن تتركز على منظومة محلية واحدة فى حالة سقوط حر • وتتضح طبيعة هذا التعميم بعقد مقارنة مع الخرائط الأرضية العادية ، حيث تتسم هذه الخرائط باختلال نسب الأبعاد بشكل متزايد كلما اقتربنا من الحدود الخارجية للخريطة • ولو درسنا على سبيل المثال واحدة من هذه الخرائط المرسومة بالاسقاط المركاتورى **Mercator's Projection** (أى ان خطوط الطول والعرض تمثل فيها بخطوط مستقيمة لا بخطوط منحنية) فسوف نلاحظ ان المناطق الاستوائية هى الأماكن الوحيدة على سطح الأرض ، الممثلة فى هذه الخرائط بدقة ، وكلما اقتربنا من المناطق القطبية أخذت معالم الخريطة تختل بشكل متزايد • ويتعاظم هذا الاعوجاج بصفة خاصة عند منطقتى القطبين حيث يبتعد رسمهما كثيرا عن نسبهما الحقيقية•والسبب فى ذلك معروف بالطبع ويعزى ببساطة الى أن سطح الأرض كروى ولا يمكن بأية حال رسم سطح منحن على خريطة مستوية دون أن يحدث اعوجاج فى الشكل • غير أن هذا الاعوجاج يمكن أن يزول بسهولة لو رسمنا الخريطة على سطح كروى بدلا من السطح المستوى ، وتتيح هذه الطريقة الحصول على تصوير دقيق لسطح الأرض كلها وليس لمنطقة الاستواء وحدها • ولو قارنا بين الخريطتين ، المستوية والكروية ، فسنجد أن الخطوط التى كانت مستقيمة فى الخرائط المستوية (خطوط الطول مثلا) ، قد تحولت الى دوائر كبيرة تقسم السطح الكروى بشكل متساو •

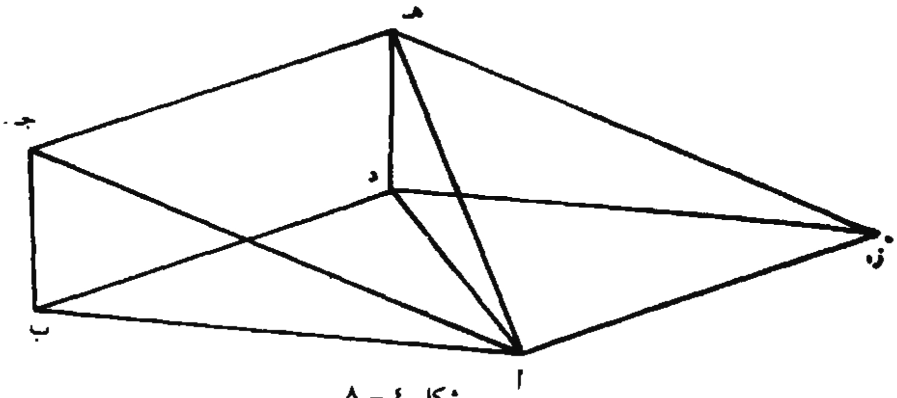
وتفيد هذه الاعتبارات بأن الاعوجاج الذى يحدث فى خريطة المكان ـ الزمان يعزى بالمثل الى أن نموذج المكان ـ الزمان ليس مستويا وانما هو منحن •

وقد تبدو فكرة المكان ـ الزمان المنحنى محيرة أو حتى غير مفهومة فى بداية الأمر • ولكن قد يساعد على فهم هذا المكان ـ الزمان المنحنى أن ندرس تأثير هذا الانحناء على كل من المكان والزمان على حدة • ولقد شغل امكان وجود مكان منحن ، بال علماء الرياضة لسنين عدة • وربما كانت أفضل طريقة لفهم مثل هذه الأنواع من المكان أن نقارنها بالمكان المستوى • وعندما نتحدث عن المكان المستوى فاننا نعنى المكان (أيا كان تعدد الأبعاد فيه) الذى يخضع لقواعد الهندسة المستوية التى تدرس فى المدارس والتى وضع أسسها ، على نحو ما ذكرنا سالفا ، العالم اليونانى اقليدس



الشكل ٤ ـ ٧ لماذا يتسم المكان بالانحناء • ولو اسقطنا سحابة من الجسيمات من السكون من مكان ما فوق سطح الأرض ، فسوف تتجه كلها صوب المركز (على افتراض وجود عدد كاف من الثقوب فى الأرض يسمح بذلك) ولتقارب المسارات كلها فى خريطة المكان ـ الزمان المعنية وتتجمع عند هذه النقطة بعد مضى زمن مقداره (ن) • ورغم ان المراقب فى حالة السقوط الحر يرى المسارات خطوطا شبه مستقيمة ومتوازية ، من شأن هذه الخطوط ان تنحنى تدريجيا للداخل صوب نقطة واحدة •

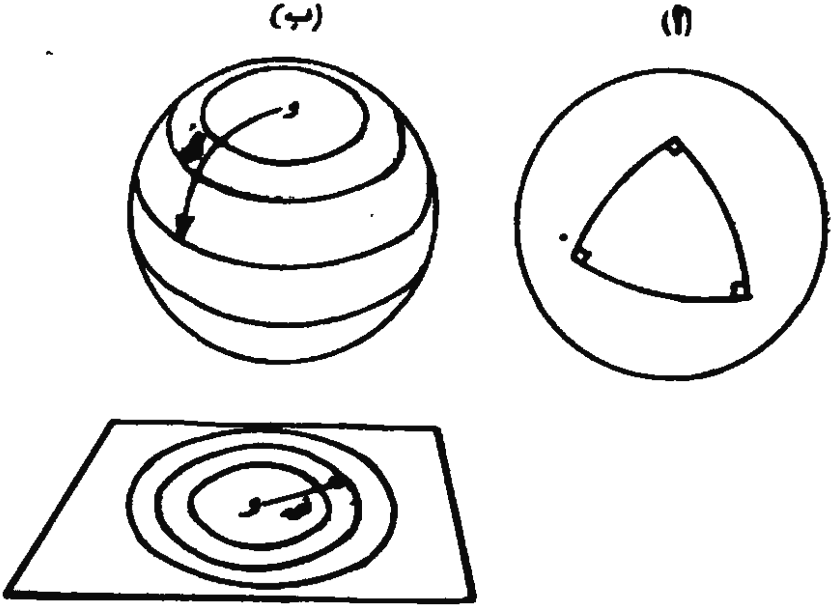
وعندما ندرس الهندسة ثنائية الأبعاد فان ذلك يجرى دائما على ورق مسطح ، ولو ظلت الورقة مستوية فسيكون من اليسير اثبات العديد من الخصائص المألوفة للأشكال الهندسية • ومن بين هذه الخصائص الأولية أن مجموع الزوايا فى أى مثلث يساوى قيمة زاويتين قائمتين • ومن شأن هذه القواعد ، المستنتجة من الأشكال المرسومة على أسطح مستوية ، أن تنطبق على الأماكن ثلاثية الأبعاد اذا أمكن دائما بناء شرائح عبر المكان تكون هى ذاتها مستوية • وما دمنا نستخدم الأجهزة العادية لقياس الزوايا والأبعاد فى المكان ثلاثى الأبعاد (ليس من الضرورى فى الواقع رسم الأشكال) ، فاننا سنجد أن الهندسة الاقليدية المستوية تصلح تماما فى حدود استخدام هذه الأجهزة ، للتطبيق بالقرب من سطح الأرض (انظر الشكل ٤ ـ ٨) •



شكل ٤ ــ ٨

الشكل ٤ ــ ٨ : هل المكان ثلاثي الابعاد يبدو مستويا ؟ لا شك ان قواعد الهندسة المستوية يمكن ان تنطبق ، حتى حدود درجات الدقة فى اجهزة القياس العادية ، على الاحجام ثلاثية الابعاد (على سطح الارض على الاقل) دون ان تكون هناك نسبة خطأ ملحوظة ٠ فيمكن على سبيل المثال حساب طول المسار المائل (ا هـ) على السطح (ا جـ هـ ز) باستخدام زاوية الارتفاع (ب ا جـ) وزاوية الميل (جـ ا هـ) عن طريق تحليل الشكل الى مثلثات ومستطيلات مستوية على نحو ما هو مبين ٠ ولان قواعد الهندسة المستوية يمكن ايضا ان تنطبق على الاحجام او الاماكن ثلاثية الابعاد ، فاننا نقول « ان المكان يبدو مستويا » ٠ ولكن لو استخدمنا اجهزة اكثر تطورا فسنكتشف ان هناك فى الواقع انحناءات طفيفة فى الخطوط ٠

ولعلنا ندرس الآن حالة المكان المنحنى ٠ وقد سبق أن جسدنا فى الباب الأول ، مثل هذا المكان على هيئة سطح كروى ٠ ولا تنطبق قواعد الهندسة الاقليدية على الأسطح الكروية ، على نحو ما يتبدى فى الشكل ٤ ــ ٩ ٠ ولفهم هذا الشكل لابد أن نلاحظ أولا أنه لا يمكن رسم خطوط مستقيمة على أى سطح منحن ، ولكن يمكن أن نصل بين نقطتين على السطح بخط هو الأقرب الى الاستقامة بمعنى انه يمثل أقصر مسار على السطح بين النقطتين ٠ ويسمى هذا المسار «الخط الجيوديسى» (geodesic) ومن خصائص الخطوط الجيوديسية على الأسطح الكرية انها تمثل دائما جزءا من دائرة التقاطع بين السطح والمستوى المار بالنقطتين ومركز الكرة ٠ ولذلك نجد الطائرات تحلق فى رحلاتها فى مسارات هى أقرب ما يكون للخطوط الجيوديسية لتقلل المسافات الى حدها الأدنى ٠ فالخط الجيوديسى الواصل على سبيل المثال بين نيويورك وطوكيو يمر بالقرب من القطب الشمالى ولذلك ينبغى على الطيار المسافر على هذه الرحلة أن يتجه شمالا فى النصف الأول من الرحلة ثم جنوبا ليحلق فى « أقصر » مسار ٠



الشكل ٤ ـ ٩ : المكان المنحنى ـ يعد سطح الكرة مكانا منحنيا (على الصعيد الرياضى) • ولا شك ان مجموع زوايا المثلث فى هذه الحالة لن يساوى قيمة زاويتين قائمتين فى هذا المكان • كما ان محيط الدوائر لا يزيد دائما مع زيادة انصاف اقطارها • ولكن لو اقتصرنا على منطقة صغيرة يمكن اعتبار المكان مستويا وبالتالى تنطبق عليه مبادىء الهندسة التقليدية •

وترتهن خصائص الخطوط الجيوديسية بطبيعة السطح الذى تنتمى اليه ، فمن الوارد دائما أن تكون هناك خطوط جيوديسية متوازية على الأسطح المستوية • ولا تنطبق هذه الخاصية على الأسطح الكرية لأنه من شأن أية دائرتين كبيرتين أن تتقاطعا مرتين (لو نظرنا على سبيل المثال الى خطوط الطول على الأرض فسنجدها كلها تتقاطع مرة عند القطب الشمالى وأخرى عند القطب الجنوبى رغم أنها تبدو جميعا متوازية عند خط الاستواء) •

ويمثل الشكل (٤ ـ ١٩ أ) مثلثا كريا تتسم أضلعه بأنها جيوديسية • ونلاحظ على التو فى هذا الشكل أن مجموع زوايا المثلث تساوى قيمة ثلاث زوايا قائمة (٢٧٠°) وليس اثنتين كما فى حالة الهندسة المستوية •

ويصور الشكل (٤ـ ٩ ب) مثالا آخر على هيئة مجموعة من الدوائر المتراكزة المرسومة حول النقطة (د) على سطح الكرة وأيضا على سطح مستو . ومن خصائص الهندسة المستوية أن محيط الدائرة تربطه نسبة ثابتة مقدارها (٢ ط) بنصف القطر . أما فى حالة الكرة فان محيط دائرة ذات نصف قطر معلوم يقل عن (٢ ط نق) (لأن نصف القطر لا يقع على خط مستقيم) بل انه فى الواقع سيقل مع زيادة قيمة نصف القطر ما أن يمتد نصف القطر لمسافة تزيد على ربع المدار حول الكرة . وهذا يعنى أن هناك حدا أقصى للمحيط بالنسبة لهذه الدوائر . ومع ذلك نلاحظ فى المثالين أننا لو اعتبرنا منطقة محدودة من سطح الكرة فستظل قواعد الهندسة المستوية تنطبق بدرجة تقريبية تماما ، أما على النطاق الصغير فالسطح يكاد يكون مستويا .

ورغم أننا درسنا هنا المعالم الهندسية للسطح المنحنى عن طريق « زرع » هذا السطح فى مكان ثلاثى الأبعاد ، فبوسع المرء (ثنائى الأبعاد) ، المحدود تماما بسطح الكرة ، ودون أن يفكر بمفهومنا « الزائد » ثلاثى الأبعاد ، أن يستنتج من خلال المشاهدات المقصورة تماما على ذلك السطح ، أن مجموع زوايا المثلثات الكبيرة على سبيل المثال لا يساوى قيمة زاويتين قائمتين . وبوسعه أيضا أن يستنتج استحالة رسم خطوط متوازية فى هذا المكان وأن يتوصل الى العديد من الخصائص الهندسية الأخرى التى تتسم بها الدائرة . ومن بين الأساليب التى يمكن أن نلجأ اليها للتعبير عن ذلك هى القول بأن تلك الخصائص ليست مجرد سمات للطريقة التى اخترناها لزرع السطح فى المكان المحيط ، وانما هى خصائص أصلية مستمدة من طبيعة السطح ذاتها . وبالاضافة الى هذه البنية الهندسية الحقيقية بوسع المرء (ثنائى الأبعاد) الطموح أن يستنتج من خلال الرحلات والمشاهدات البعيدة بعض الخصائص الطبوغرافية للكرة ،.ومنها على سبيل المثال أنها عبارة عن سطح مغلق محدود .

ورغم أن الاعتبارات التى تطرقنا اليها جتى الآن كانت محدودة بالأماكن ثنائية الأبعاد (الأسطح المستوية) فان النتائج العامة يمكن أن تنسحب على الأماكن ذات التعدد الأكبر من الأبعاد . فمن الوارد تماما أن يخضع المكان الحقيقى ثلاثى الأبعاد (حتى المكان ـ الزمان رباعى الأبعاد) لقواعد الهندسة الكرية على سبيل المثال بدلا من الهندسة الاقليدية . وقد يتسم الفضاء الكونى فى مجمله بهندسة ذاتية خاصة به لا تمت بصلة للهندسة الاقليدية .

وتتصف الأماكن ثلاثية الأبعاد المنحنية ببعض الخصائص المميزة الغريبة . ولنفترض على سبيل المثال وجود تناظر بين الأماكن ثلاثية الأبعاد وحالة الكرة فى المكان ثنائى الأبعاد . ففى حالة الكرة ليست هناك نسبة ثابتة بين نصف قطر الدائرة ومحيطها ، وهناك أيضا حد أقصى لمحيط الدوائر . أما فى حالة الأماكن ثلاثية الأبعاد ، فيستعاض عن الدوائر بالكريات وعن محيطات الدوائر بمساحات أسطح هذه الكريات . وتقضى قواعد الهندسة الاقليدية بوجود نسبة ثابتة مقدارها (٤ ط) بين مربع نصف قطر الكرة ومساحة سطحها . وبالتناظر مع حالة المكان ثنائى الأبعاد ، فان المكان الكرى ثلاثى الأبعاد يتسم بأن مساحات الأسطح هذه تقل بصفة عامة عن قيمة (٤ ط نق٢) . علاوة على ذلك ، فبالنسبة للأشكال الكرية الكبيرة هناك حد أقصى لمساحة الأسطح بحيث مهما زاد نصف قطر الكرة بعد ذلك فسوف تقل مساحة سطحها ! ويتصف الحجم الاجمالى لمثل هذا المكان بأنه محدود . ومن شأن خاصية على مثل هذه الدرجة من الغرابة أن تبعث على المقارنة (من حيث المبدأ) بينها وبعض الشواهد فى العالم الحقيقى . وسوف نناقش فى الباب الخامس ماهية الدلائل التى تبعث على الاعتقاد بأن الهندسة الكبرى للكون توحى بأنه على هيئة كرية .

وتتمثل الفكرة الثورية الجريئة لاينشتين فى الربط بين هذه الاعتبارات الرياضية المتعلقة بالهندسة المنحنية والخصائص الطبيعية للجاذبية . ويقوم فكر اينشتين على أن المكان ـ الزمان لا يمكن أن يكون « مستويا » فى ظل وجود الجاذبية ، وبالتالى لا يخضع لقواعد الهندسة الاقليدية ، ولكنه يتخذ بدلا من ذلك بنية هندسية أكثر تعقيدا . وهذا يعنى أن الجسيم فى حالة السقوط الحر سيتحرك وفقا لهذه البنية المنحنية ، على اقصر مسار ممكن ، اى على خط جيوديسى . ولو لم تكن الجاذبية موجودة لصار المكان ـ الزمان مستويا ، ولتحول مسار هذا الجسيم الى خط مستقيم ولتحولت حركته الى حركة منتظمة خاضعة للعالم النيوتونى المألوف . ومن منطلق هذه المفاهيم الجديدة سوف يكون من شأن الاطار المرجعى الساقط سقوطا حرا فى موقع ما فى مجال جاذبية غير منتظم ، أن يسجل نوعا من عدم الاستواء فى المكان ـ زمان المحيط به تماما مثلما تؤدى الهندسة المنحنية الى انحناء المكان ـ الزمان . اى ان الجسيمات الساقطة سقوطا حرا عند نقاط متباعدة ستتحرك فى مسارات منحنية تتماشى تماما مع ما جرى فى حالة المراقب الوارد ذكره فى مثال الصندوق الساقط فى الشكل ٤ ـ ٤ .

ولقد ذكرنا فى الباب الأول أن نيوتن اكتشف قواعد الميكانيكا التى وضع أسسها ، عندما حاول الاجابة على السؤال القائل : لماذا تتعاجل الأجسام ، وليس لماذا تتحرك بانتظام • فقد اعتبر أن الحركة المنتظمة هى حركة طبيعية ولا تحتاج الى تفسير ، وأن الحاجة لوجود القوى انما هى من أجل « تغيير » السرعة المنتظمة للجسم وليس للابقاء عليها • وكانت الجاذبية تعتبر ذلك النوع من القوة التى تسبب سقوط الجسم بسرعة متزايدة صوب الأرض • ثم جاء اينشتين فى القرن العشرين وتقدم خطوة اضافية ، حيث اعتبر أن الجسم الساقط سقوطا حرا يعتبر فى حالة حركة طبيعية ولكن وفقا لمنظومة المكان ـ الزمان المنحنية • ومن ثم ليس هناك أى غموض بالنسبة للجاذبية • ولكن ما يحتاج الى تفسير بالفعل ليس هو لماذا تسقط التفاحة ، وانما هو لماذا تتوقف التفاحة عندما ترتطم بالأرض ؟ ومثلما ألغى نيوتن من قبل القوى بالنسبة للحركة المنتظمة ، ألغى اينشتين أيضا القوى بالنسبة لحركة السقوط الحر • فلا يحتاج الجسم الساقط سقوطا حرا وجود أية قوة الا اذا حاد تحركه عن السقوط الحر ، وما توقف التفاحة عند الاصطدام بالأرض الا بمثابة حيد عن السقوط الحر ، فهو يأتى فى هذه الحالة نتيجة قوى عنيفة لا تنتمى للجاذبية ، وتطيح بمسار المكان ـ الزمان الخاص بها بعيدا عن الخط الجيوديسى الطبيعى • وفى المقابل فان الأرض لا تدور فى مسارها المنحنى حول الشمس لأنها تخضع لقوة تحيد بها عن الخط المستقيم وانما لأنها تندفع بلا عائق من خلال المكان ـ الزمان المنحنى • ويعد هذا التزاوج الباهر بين الجاذبية والهندسة واحدا من أروع انتصارات الفكر البشرى على مدى التاريخ •

ولا شك أن توصيف الجاذبية باستخدام قواعد الهندسة ، على نحو ما شرحناه آنفا ، لا يشكل فى حد ذاته نظرية علمية • وكان على اينشتين أن يضع مجموعة من المعادلات الرياضية التى تصف بدقة كيف يعمل مصدر معلوم للجاذبية على اعوجاج منظومة المكان ـ الزمان القريبة منه ، ولقد اهتدى فى ذلك بعدد من المبادىء الأساسية : منها على سبيل المثال أن النظرية الجديدة ينبغى أن تؤول ، عند الحد الأدنى لمجالات الجاذبية الضعيفة والسرعات المحدودة ، الى نظرية نيوتن للجاذبية • ويعد هذا الشرط أساسيا لأن النموذج النيوتونى للجاذبية ظل (ومازال) مستخدما بنجاح باهر على مدى أجيال • والشرط الثانى هو أن نظرية النسبية العامة ينبغى أن تؤول الى النظرية الخاصة فيما يتعلق بمجالات الجاذبية الضعيفة •

وتعد كتلة الجسم وفقا لنظرية نيوتن ، بمثابة مصدر طاقته • غير أن هذه الكمية لا تعد مصدرا ملائما في اطار نظرية النسبية التي تعتبر أن الكتلة تكافيء الطاقة (من خلال القانون ق = ك ض٢) التي ترتبط بدورها بكمية التحرك (momentum) بطريقة تتماثل الى حد كبير مع التزاوج بين المكان والزمان في النسبية • وبالتالي ينبغي أن تبني أية نظرية جديدة للجاذبية يراد لها أن تتفق مع النسبية ، على اعتبار أن كل تلك الكميات الطبيعية المتمثلة في الاجهاد(Stress)والطاقة وكمية التحرك، تولد الجاذبية •

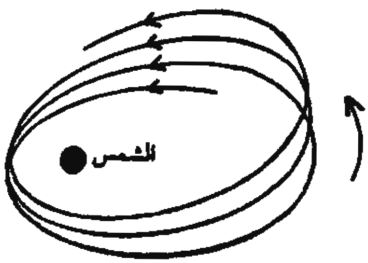
وتتمثل الخطوة التالية في ايجاد الكمية الهندسية الصحيحة للمكان ــ الزمان التي تتلاءم مع هذا المصدر • ولقد درس اينشتين العلاقة التي تربط بين الاجهاد والطاقة وكمية التحرك ونجح بالفعل في ايجاد الكميات الهندسية التي تصف انحناء المكان ــ الزمان ، والتي ترتبط ببعضها بنفس العلاقة تماما مثل الكميات الطبيعية الثلاث • وبالمساواة بين هاتين الكميتين معا ــ واحدة هندسية والأخرى طبيعية ــ توصل اينشتين الى معادلاته المجالية الشهيرة • وتصف هذه المعادلات بالتفصيل شكل الانحناء الذي يضفيه توزيع معين (اجهاد ــ طاقة ــ كمية تحرك) ، على منظومة المكان ــ الزمان القريبة منه •

غير أن من أهم مساويء معادلات المجال التي وضعها اينشتين هي الصعوبة البالغة في حلها ، حتى انه على مدى الأعوام الستين التي انقضت منذ اكتشافها لم يتم التوصل الا الى عدد محدود للغاية من الحلول الصحيحة • ومع ذلك فلم يكد يمر عام ١٩١٦ حتى توصل أحد علماء الفضاء الألمان ، ويدعى كارل شفارز شيلد Karl Schwarsz Child (١٨٧٣ ــ ١٩١٦) الى واحد من أبسط وأهم هذه الحلول الصحيحة ومازال كذلك حتى اليوم • ويتعلق هذا الحل الذي أطلق عليه اسم مكتشفه، بالمكان ــ الزمان القريب من جسم كرى • ورغم سهولة هذه المنظومة ــ المكونة من كتلة كرية محاطة بفراغ ــ فانها تشكل نموذجا رائعا للمجموعة الشمسية حيث يمثل الجسم المركزي فيه الشمس ، أما الفراغ المحيط بها فهو يمثل المنطقة التي تتحرك فيها الكواكب (مع افتراض اهمال جاذبية الكواكب ذاتها) • وبحساب المسارات الجيوديسية وفقا لنموذج شفارز شيلد للمكان ــ الزمان ، يمكن الحصول على أشكال مدارات الكواكب حول الشمس • وكانت قد تمت قبل ذلك بكثير معالجة هذه المسألة باستخدام نظرية نيوتن • وتفيد النتائج التي توصل اليها جوهانز كبلر Johannes Kepler (ألماني ، ١٥٧١ ــ ١٦٣٠) وأكدها نيوتن ، بأن

الكواكب تتحرك في مسارات بيضاوية وتقع الشمس عند أحد المركزين ، وهي نتائج مهمة تتفق الى حد كبير مع الشواهد ·

وتقترب كثيرا النتائج المحسوبة وفقا لنظرية النسبية العامة من تلك المحسوبة وفقا لنظرية نيوتن فيما يتعلق بمجموعتنا الشمسية ، غير أن هناك بعض الاختلافات الطفيفة ولكنها بالغة الأهمية ·

فبدلا من الحركة البيضاوية التامة ، وصفت نظرية اينشتين المسار بأنه بيضاوى أيضا ولكن مستواه يدور على نحو ما هو مبين فى الشكل (٤ ــ ١٠) · غير أن هذا التأثير يعد بالغ الضعف ، فبالنسبة للكوكب عطارد ، وهو أقرب الكواكب الى الشمس ومن ثم يكون هذا التأثير فى قمته ، لا تتجاوز قيمة زاوية دوران مستوى المدار ٤٣ ثانية كل قرن ، أى أن الأمر يحتاج ثلاثة ملايين سنة لكى يتم مستوى المسار دورة كاملة · ومما يبرز هذا التأثير أن هناك عوامل عديدة أخرى تسبب أيضا دوران مستوى مسار عطارد ، بل وأكثر من ذلك أن تأثير هذه العوامل يزيد كثيرا على قيمة التأثير الأول · ويمكن حساب مقدار هذا التأثير وأخذه فى الحسبان · ولقد كان معروفا قبل أن ينشر اينشتين نظريته أن مستوى



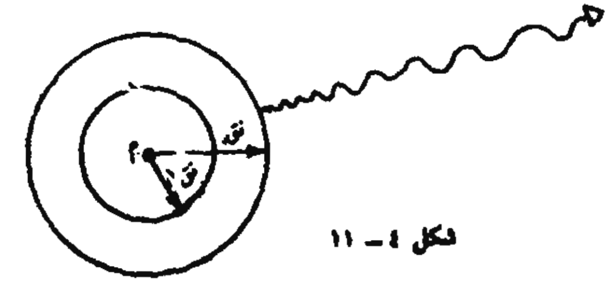
شكل ٤ ــ ١٠

الشكل ٤ ــ ١٠ · انحناء المكان ــ الزمان يؤدى الى دوران مستوى مدار عطارد · اكتشف يوهانز كبلر أن الكواكب تسير فى مدارات بيضاوية الشكل · وشرح نيوتن تلك الظاهرة باستخدام نظريته الخاصة بالجاذبية · وتفيد نظرية اينشتين أيضا بأن شكل المدارات بيضاوية ولكن مستوياتها تدور ببطء شديد حيث لا تتجاوز زاوية الدوران بالنسبة لمستوى مسار عطارد ٤٣ ثانية كل مائة عام ·

مسار عطارد يدور بزاوية قدرها زهاء ٤٠ ثانية فى القرن · ويعد هذا التفسير البـــارع والغريب لهذا التأثير ، الذى ينم عن انحناء المكان ـ الزمان ، واحدا من العدد المحدود للغاية من الشواهد التى تؤكد صحة نظرية النسبية العامة ·

ولعلنا الآن ، وبعد أن درسنا تأثير انحناء المكان ـ الزمان على المكان وعلى مسارات جسيمات الاختبار المتحركة فى المكان ـ الزمان ، نتحول الى دراسة تأثير هذا الانحناء على الزمان والى بحث الكيفية التى يؤثر بها انحناء المكان ـ الزمان على معدل مرور الوقت تحت تأثير مجالات الجاذبية ·

ومن السمات التى يتصف بها العديد من نظريات الجاذبية ، ومنها نظرية النسبية العامة ، أن آلات قياس الوقت اذا وضعت فى مجال جاذبية قوى ، أى بالقرب من سطح كتلة كروية ضخمة على سبيل المثال ، فانها تجرى بمعدل أبطأ مما لو كانت موجودة على بعد كبير من هذه الكتلة · ومن الطبيعى أن يكون هذا التمدد الزمنى واردا فى الحسبان فى اطار حل شفارز شيلد ، غير أن تفاصيل هذه المســألة تتجاوز نطاق هذا الكتاب · ولو أن هناك من القراء من هو على دراية بنظرية الكم ويريد إن يستزيد فى هذا المجال فسوف يجد تحليلا مفيدا لهذا التأثير فى الشرح المصاحب للشكل (٤ ـ ١١) · ومرة أخرى نلاحظ أن هذا التأثير يعد محدودا للغاية فى المجموعة الشمسية ، حيث لا يتجاوز مقدار التمدد الزمنى على سطح الأرض زهاء ١٠ ‾ ١٨ ثانية لكل سنتيمتر رأسى· ومع ذلك ، فحتى مثل هذا التأثير المتناهى يمكن قياسه باستخدام نوع من الساعات الذرية · وتجدر الاشارة الى أن ما يناقش هنا هو المعدلات النسبية لمرور الوقت ، فلا ينبغى أن يتصور القارىء أن الوقت يمر بالقرب من الأرض بمعدل أبطأ منه فى الفضاء الخارجى ، وكل ما هنالك أن التزامن سيختل تدريجيا بين آلات قياس الوقت فى هذه المواقع المختلفة ·

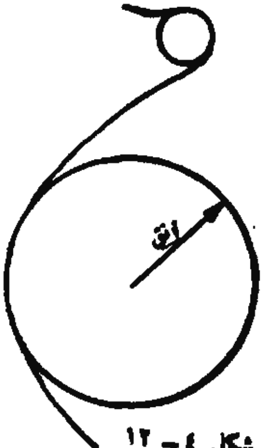


شكل ٤ ـ ١١

الشكل ٤ ـ ١١ نصف قطر شفارز شيلد · يتسم الفوتون الضوئي من حيث ميكانيكا الكم بتردد يتناسب مع طاقته · وتفيد نظرية النسبية الخاصة بان هذه الطاقة لها ايضا كتلة مقدارها (ك ض٢) · وباستخدام قوانين نيوتن يمكن حساب قيمة قوة الجاذبية المؤثرة على (كض٢) بسبب الكتلة « م » (التي سنعتبر انها مركزة في نقطة واحدة من قبيل التيسير) وذلك من الكمية (ج م ك/نق ٢) ، وبالتالي يصل مقدار الطاقة المفقودة نتيجة انفصال الفوتون من المسافة (نق) وتحركه الى بعد سحيق الى (ج م ك/نق) ويصل مقدار الخسارة في التردد الى (ج م/نق ض٢) · ولو استخدمنا التردد الضوئي كوسيلة لقياس الوقت ، فان ذلك يمثل عملية ابطاء نسبية لمعدل مرور الوقت عند المسافة (نق) حسبما يرى مراقب يقف على بعد سحيق · وعندما تقترب قيمة (نق) من (ج م/ض٢)، اى عندما تقترب قيمة الكسر العشرى من واحد ، سوف يؤدى ذلك الى زيادة التمدد الزمني بدرجة بالغة والى ان تضعف بدرجة كبيرة شدة الضوء الذى يسعى للانبعاث · وتفيد نظرية النسبية الخاصة في الواقع بان ذلك الوضع يحدث عندما تصل قيمة (نق) الى (٢ ج م/ض٢) · وتعرف هذه المسافة باسم نصف قطر شفارزشيلد ويرمز لها في هذا الشكل بـ (نق ١) · وتتسم معظم الأجسام في الكون بان نصف قطرها يزيد كثيرا على (نق ١) ، ولذلك فان تاثير التمدد الزمني يكاد لا يذكر ·

٤ ـ ٣ الثقوب السوداء ، انقباض المكان ـ الزمان

ولو كان تاثير الجاذبية على المكان ـ الزمان مقصوراً على التبعات الضعيفة التي تناولناها آنفا لبقيت نظرية النسبية العامة مجرد فرع معزول في علم الفيزياء أو نوع من الخيلاء الفكرى · غير أن ما تجلى من شواهد في الأعوام الأخيرة فجر احتمالات كبيرة لوجود أجسام في الكون تبلغ جاذبيتها درجة من القوة تمكنها من التاثير على خصائص المكان ـ الزمان بالقرب منها ، بدرجة غريبة ومبهرة ·



شكل ٤ ــ ١٢

الشكل ٤ ــ ١٢ : تحديد مقدار انحناء الخط بمقياس نصف قطر الدائرة المماسة · وكلما كان نصف القطر صغيرا كان الانحناء كبيرا ·

ويجدر هنا أن نتوقف قليلا لبحث استخدام وصف « القوة » بالنسبة للجاذبية : فمتى يمكن اعتبار مجال الجاذبية قويا ؟ والرد فى هذا السياق هو : عندما يكون اعوجاج المكان ــ الزمان كبيرا · ولكى نتعرف على الملابســـات التى تتيح ذلك ، ينبغى أولا أن ندرس كيفية قياس هذا الاعوجاج · ويمكن بصفة عامة تقدير انحناء خط ما بقياس نصف قطر الدائرة المماسة له (الشكل ٤ ــ ١٢) · وكلما كان نصف القطر صغيرا كان الانحناء كبيرا · ويمكن استخدام هذه الطريقة لقياس اعوجاج المكان ــ الزمان عند كل نقطة على الخط البيانى · وبمقارنة هذه الانحناءات مع وحدات المسافة العادية يمكن الحصول على مؤشر لقوة الجاذبية ·

ولعلنا نفترض الآن أن كل الكتلة الواردة فى الحســـبان فى حل شفارزشيلد قد تركزت فى لحظة ما فى نقطة ، فى هذه الحالة ، سيكون اعوجاج المكان ــ الزمان عند المسافات البعيدة من هذه الكتلة المركزة صغيرا · ولكن كلما اقتربت الكتلة اشتد مجال الجاذبية وازداد اعوجاج المكان ــ الزمان بدرجة كبيرة ، وعند مسافة معينة من الكتلة النقطة سوف يصل الانحناء الى مقدار يمكن مقارنته بتلك المسافة ذاتها ، ويكون اعوجاج المكان ــ الزمان عندئذ بالغا · وبالتحليل المنطقى البسيط نجد أن هذه المسافة الحرجة ترتهن بكتلة الجسم (م) وبمعامل الجاذبية (جـ) وأيضا بسرعة الضوء (ض) لانها تربط بين وحدات المكان والزمان على نحو ما أوضحنا فى الباب الثانى ، والصورة الوحيدة التى يمكن ان تجمع بين

(جـ) و (م) و (ض) وتعطى وحدات المسافة هى (جـ م/ض٢) ٠ ومن ثم ، وبغض النظر عن أى معامل رقمى ثابت ، من شأن هذه الكمية أن تحدد نصف قطر الكرة المحيطة بالكتلة النقطة والتى يصل عندها مقدار اعوجاج المكان ـ الزمان ، الناجم عن الجاذبية ، الى قيمة بالغة ٠ وكان قد تم التوصل الى نفس النتيجة باستخدام نظرية الكم ، على نحو ما هو مبين فى الشكل (٤ ـ ١١) ٠ وكان أيضا المقدار (جـ م/ض٢) قد اكتشف قبل ذلك بكثير حيث عرفه الفرنسى بيير لابلاس **Pierre Laplace** (١٧٤٩ ـ ١٨٢٧) فى عام ١٧٩٦ بأنه نصف المسافة التى يحدث فى اطارها أن تتجاوز سرعة الافلات النيوتونية من كتلة ما سرعة الضوء ٠

ويمثل المقدار (٢ جـ م/ض٢) قيمة نصف القطر الحرج هذا وفقا لحل شفارزشيلد ، ولذلك تعرف هذه المسافة حاليا باسم نصف قطر شفارزشيلد ٠ وبالتعويض فى هذا المقدار سنجد أنه يبلغ بالنسبة للأرض سنتيمترا واحدا وبالنسبة للشمس كيلومترا واحدا ، وهذا يعنى أن حجم كل من الجسمين يفوق بدرجة بالغة قيمة نصف قطر شفارزشيلد الخاص به ، أى أن مقدار الاعوجاج فى المكان ـ الزمان ، الناجم عن الجاذبية بالقرب من سطحيهما ، يعد بالغ الضآلة ٠

ولا ينبغى أن يعتقد أحد أن هذا الاعوجاج يكون كبيرا بالقرب من مراكز الأجسام ، فليس من شأن حل شفارزشيلد الا أن ينطبق على المناطق الخارجية ، أى المكان الخالى المحيط بالكتلة ، **وهذا يعنى أن تأثير الاعوجاج لن يكون كبيرا الا اذا انكمش الجسم كله الى حجم قريب من قيمة حد شفارزشيلد الخاص به** ٠ فلو تقلص على سبيل المثال نجم مثل الشمس ليصل قطره الى كيلو متر واحد أو نحو ذلك ، فسوف تصل كثافته الى قيمة خيالية تناهز ١٠¹⁷ مثل قيمة كثافة الماء ! أما بالنسبة للأرض ، فسوف تزيد كثافتها الى مليون مثل قيمتها لو تقلصت الى مثل حجم البيضة ! ولو تناولنا المسألة من الزاوية المقابلة فسنجد أن الأمر يقتضى ألا تزيد كتلة الجسم المجرى عن قيمة كثافة الماء ، أما الكثافة الحرجة للكون كله فلن تتجاوز مائة مثل الكثافة المعروفة حاليا للمادة الضوئية ٠

ولو انكمش جسم ما الى قرب حد شفارزشيلد الخاص به فسوف يكون من خصائصه أن الضوء المنبعث من سطحه سيفقد كل طاقته تقريبا فى عملية الافلات من تأثير جاذبيته البالغ ، وبالتالى سيبدو سطح مثل هذا الجسم شديد الظلام فى نظر مراقب ينظر اليه من مسافة بعيدة ٠ وهذا هو أساس نظرية لابلاس التى وضعها فى ١٧٩٦ ، وهى تستند تماما على وجهة نظر نيوتن فيما يتعلق بالجاذبية ٠ فقد طرح لابلاس احتمال أن تكون هناك أجسام ثقيلة فى الكون ولكنها حالكة السواد نتيجة عدم قدرة

الطاقة الضوئية على الافلات منها بسبب ضخامة الجاذبية · ومن شأن التمدد الزمنى على سطح الأجسام ذات الكثافة البالغة ـ والتى ترصد بفضل هذا الضوء الضعيف ـ أن تصل قيمته الى ما لا نهاية ، ولذلك تبدو الأحداث فيها تجرى بدرجة من البطء حتى أن سطحها سيظهر كما لو كان مازال فى «العصر الجليدى» · ولهذا السبب فقد أطلق فى وقت من الأوقات على هذه الأجسام المفترض وجودها اسم « النجوم الجليدية » ، رغم أن هذا الاسم ينطوى على نوع من المغالطة لأنه من المفترض أن تبدو أسطح هذه النجوم سوداء تماما · ويستخدم حاليا اسم آخر لهذه النجوم هو « الثقوب السوداء » **Black holes** وهو يبدو أكثر ملاءمة ·

وقد وضع علماء الفلك عددا من التصورات للأسلوب الذى يمكن أن يتكون به فى الواقع ثقب أسود فى الكون · فعلى سبيل المثال ، من المتفق عليه بصفة عامة أن الكون منـــذ عشرة مليارات سنة كان بالغ الكثافة ، وكان كل ما نراه الآن من فلك منتشر ، مضغوطا بشكل عظيم · ومن الوارد فى هذه الظروف أن تكون بعض الكتل الكثيفة من المادة قد وقعت فريسة جاذبيتها الذاتية فتقلصت الى ثقوب سوداء ميكروسكوبية لا تزيد فى حجمها على الجسيمات دون الذرية ولكن تصل كتلتها الى نحو ١٥١٠ جم · وفى المقابل قد يكون الأمر أيسر بالنسبة لأجسام أخرى توازى كتلتها كتلة ملايين النجوم ، أن تنقبض الى نصف قطر الثقب الأسود ، لأن الكثافة الملائمة المطلوبة فى هذه الحالة لم تكن غريبة بالنسبة للمحيط من حولها ·

وربما كان الأسلوب الأقرب الى المنطق بالنســـبة لتكون الثقوب السوداء هو ما يحدث للنجوم الثقيلة العادية · فلقد ساد فى الأعوام الأخيرة اقتناع متزايد بأن الثقب الأســـود يمثل النهاية الطبيعية لحياة بعض أنواع النجوم الثقيلة · ولفهم ذلك ينبغى أن نعرج بالحديث فى ايجاز الى بنية النجوم ·

ان معظم النجوم فى الكون تتماثل مع شمس مجرتنا ، وهى تتكون أساسا من أخف عنصر فى الوجود وهو الهيدروجين ، ويصل قطرها بصفة عامة الى زهاء واحد ونصف مليون كيلو متر · ويعتقد انها ليست على درجة كثافة بالغة للســـبب التالى : تحاول جاذبية المادة النجمية جذب الهيدروجين صوب جوف النجم مما يسفر عنه ارتفاع درجة حرارة الغاز المنضغط · وتصل الحرارة بالقرب من المركز الى درجة فائقة (بضـــعة ملايين درجة مئوية) بحيث تتولد عملية اندماج نووى ـ وهى الظاهرة التى تقوم عليها القنبلة الهيدروجينية · وتتمثل عملية الاندماج فى مسابقة بين قوى الجذب النووية قصيرة المدى (المبنية على التفاعل القوى) بين

البروتونات والنترونات فى النوى الذرية وقوى التنافر الكهربية طويلة المدى فيما بين البروتونات بما أنها تحمل شحنات متماثلة • ولكن من شأن الحرارة الفائقة فى جوف النجوم أن تجعل الأنوية الذرية المتحركة بسرعة عالية ترتطم ببعضـــها بشـــدة تكفى للتغلب على قوى التنافر الكهربية وتقترب من بعضها ، بما يفسح المجال **لأن تتغلب قوى الجلب التى تفوق كثيرا فى شدتها قوى التنافر** • وتسفر تلك العملية عن اندماج الأنوية الأخف (كنواة الهيدروجين) لتكون أنوية أثقل (كنواة الهليوم) ، مع تحول جزء من الكتلة الاجمالية الى طاقة فى شكل فوتونات ونوترينات على هيئة أشعة جاما •

ولهذه الطاقة تأثيران : الأول هو الابقاء على سخونة النجم بحيث تستـــمر عملية الاندماج • والواقع أن النجوم من قبيل شمسنا تتسـم بالاستقرار والانتظام نتيجة التوازن بين ما تفقده من حرارة فى الفضاء المحيط بها وبين الطاقة الناجمة عن الاندماج النووى داخلها• أما التأثير الثانى فيتمثل فى أن الضغط الناجم عن هذه الطاقة يحول دون انقباض الطبقات الخارجية للنجم صوب الداخل مما يجعل كثافة المادة النجمية أقرب الى الضآلة (فهى تقل عند سطح الشمس على سبيل المثال ، عن كثافة الماء) • وفى اطار سلسلة الاندماج النووى يعد تحول الهيدروجين الى هليوم هو العملية التى تنتج أكبر قدر من الطاقة ، ولذلك تتناقص كمية الهيدروجين تدريجيا حتى يأتى الوقت الذى يكاد ينفد فيه ، وعندئذ تبدأ عملية اختلاف ميزان استقرار النجم ويقبل على مرحلة أحداث عنيفة • واذا كانت تلك المرحلة غير متوقعة بالنسبة لشمسنا على مدى آلاف الملايين من السنين القادمة ، فان مثل هذه الأحداث قد وقعت بالفعل لنجوم يصل وزنها الى بضعة أمثال كتلة الشمس ، وهذه النجوم ليست نادرة الوجود • وقد لا تعنينا فى هذا المقام تفاصيل ما يحدث بعد ذلك ،.ولكن يهمنا أن نعرف أن نهاية النجم اما تأتى فى صورة انفجار مروع ، أو على هيئة انقباض فظيع تحت تأثير الجاذبية • وقد علم الناس منذ أمد بعيد أنه عندما ينضب الوقود النووى فى جوف نجم ما فلا مفر من تعرضه لعملية انقباض تجعله بالغ الكثافة • وقد تم بالفعل رصد بعض من مثل هذه النجوم والتى يطلق عليها المتقزمات البيضاء **(White dwarfs)** والتى تزيد الجاذبيـــة على سطحها على آلاف أمثـــال مثل جاذبيـــة الشمس • ويبلغ من كثافة مادة المتقزم الأبيض أن حجم الطن الواحد منها لا يزيد على حجم الكســـتبان••

واذا كانت المتقزمات البيضاء لا تتعرض لمزيد من الانقباض ، فان ذلك يعزى الى نوع آخر من تأثيرات ميكانيكا الكم يعرف باسم ضغط

التفسخ الالكترونى (electron degeneracy pressure) ومع ذلك، فليس من شأن هذا التأثير الجديد أن يتحمل كتلة تزيد على ١٫٤٤ مثل كتلة الشمس • ومن ثم مازالت هناك فرصة لتكون أجسام تزيد كثافتها على كثافة المتقزمات البيضاء ، ويبلغ من قوة الجاذبية فى مثل هذه النجوم أن الذرات تنهار فيها وتتحول الى نترونات • وتصل الكثافة فى هذه النجوم النترونية الى قيمة تفوق الخيال ، حيث لا يزيد قطرها على بضعة كيلو مترات بينما تكون كتلتها فى حدود كتلة الشمس • ويقدر وزن مقدار ملعقة صغيرة من مادة النجوم النترونية بنحو مائة مليون طن !! ولو أن عابرة المحيطات « QE 2 » سقطت فى نجم نترونى لتقلصت الى مثل حجم حبة الأرز • ،

ومن شأن ضغط التفسخ الالكترونى أن يبقى على النجوم النترونية ، ولكن ، ومرة أخرى ، يستمر ذلك الدفاع حتى وزن معين • أما فيما يتعلق بالنجوم بالغة الثقل ، فلا يبدو أن هناك شيئا على الاطلاق يمكن أن يجعل مادتها تتحمل أكثر من ذلك وتقاوم الانهيار التام •

ورغم أن التفاصـــيل الدقيقة لعملية الانقباض ترتهن الى حد ما بالخصائص المفترضة لمادة النجم النترونى الكثيفة ، فان السمات العامة لهذه العملية معروفة جيدا • ومادمنا نتحدث عن انقباض أجسام تجاوزت مرحلة النجم النترونى ، فاننا نكون قد دخلنا فى نطاق مجالات الجاذبية الفائقة التى ينبغى أن نستخدم فيها نظرية اينشتين للنسبية العامة لوصف هذه العملية • ولكى ننجح فى استنتاج تحليل رياضى مباشر من هذه النظرية الرائعة ينبغى التغلب على ما تتسم به من تعقيد بالغ ، ولن يتأتى ذلك الا باستخدام نماذج مبسطة • ولذلك فقد جرت دراسات نظرية مكثفة على سبيل المثال بشأن انقباض الأجسام الكرية التى تخضع بنيتها الهندسية الخارجية لحل شفارزشيلد • وقد وضعت بعض الاعتبارات التبسيطية ، فى مقدمتها الافتراض بأن كل أجزاء النجم تسقط للداخل سقوطا حرا ، أى أن نهمل كل الضغوط الداخلية •

ولو أن مراقبا يقف على سطح مثل هذا النجم فسوف يرى الأحداث تجرى بسرعة فائقة ، حيث سينقبض النجم الى نسبة ضئيلة من حجمه فى زمن يقل كثيرا عن الثانية الواحدة ، فما هى الا طرفة عين حتى يجد المراقب نفسه قد اجتاز حد شفارزشيلد بالنسبة للنجم • ولما كان سقوطه حرا فانه سيكون فى حالة انعدام وزن عندما يجتاز هذا الحد الحرج ، وبالتالى لن يلحظ أى تأثير غريب على المكان ـ الزمان القريب منه • غير أن تسلسل هذه الأحداث سيختلف كثيرا بالنسبة لمراقب يقف على بعد فائق (بحيث لا يهوى للداخل مع انقباض النجم) • وبما أن نصف قطر النجم سيدانى

حد شفارزشيلد ، فسيقترب سطحه من منطقة التمدد الزمنى اللانهائى ٠ ومن ثم ستبدو مراحل الانقباض هذه عن بعد متباطئة تدريجيا حتى يتمدد الزمن بدرجة لا يتسنى بعدها رصد مزيد من الانقباض ٠ وبالنسبة للمراقب البعيد ستتوقف متابعة تطور الأحداث فى النجم عند النطاق الخارجى لحد شفارزشيلد ، أى أن النجم سيتجمد للأبد من حيث الزمن ٠

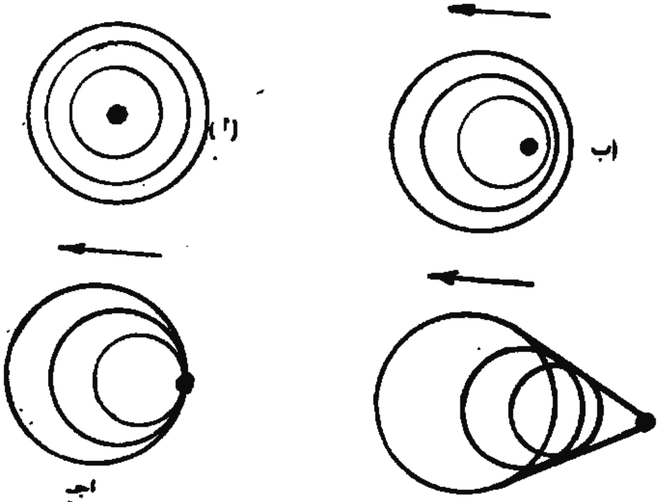
واذا لم يحدث مزيد من التغيير ، فلن يكون من شأن المراقب البعيد ، مهما طـــال انتظاره ، أن يرى مرحـلة الانقبـاض الى الداخل من حد شفارزشيلد ٠ اذن ، فأى أحداث تقع بعد اجتياز النجم لهذا الحد الحرج ستغيب تماما عن العالم الخارجى (لأنها ستتجاوز «اللانهاية» فى الزمن) ، ومن ثم يعتبر نصف قطر شـــفارزشيلد بمثـــابة « الحـــدث الأفق » Event Horizon الذى يفصل بين ما يمكن أن يرصده العالم الخارجى من أحداث فى النجم وما لايمكن أن يرصد ، وهذا يعنى من زاوية أخرى أنه لا مجال لأى حدث يقع داخل خط الأفق هذا لأن يؤثر بأى شكل من الأشكال على العالم الخارجى ٠

ويمكن بسهولة فهم السمات النوعية للثقوب السوداء من هذا القبيل ، بمجرد النظر الى الرسم البيانى للموجات الضوئية القريبة منها ٠ وقد يكون من الملائم استخدام النقط والدوائر لشرح تأثير الجاذبية على الضوء ، على نحو ما هو مبين فى الشكل (٤ ــ ١٣) ٠ وتمثل النقطة فى هــذا الشــكل مصــدرا ضــوئيا فى الفضــاء يشع ومضة ضــوء فى كافة الاتجاهات ، أما الدوائر فتمثل أوضاع الموجة الضوئية على مراحل متتالية بعد ذلك ٠ ومن طبيعة الموجات الضوئية ، فى حالة عدم وجود جاذبية (الشكل أ) أن تنتشر بانتظام فى كل الاتجاهات ، أما لو كان هناك مجال جاذبية فانه سيعمل على زحزحة مقدمة الموجات الضوئية صوب اتجاه تأثير المجال ٠ ويعد هذا الاختلال بلا شك مظهرا من مظاهر اعوجاج المكان ــ الزمان الذى تناولناه آنفا ٠

ويصور الشكل (٤ ــ ١٤) الوضع بالقرب من ثقب أسود ٠ ويمثل القرص المركزى النجم وقد انقبض الى أقل من حد شفارزشيلد الممثل بالخط المتقطع ٠ وتتسم مقدمة الموجة الضوئية عند مسافة بعيدة من الجسم (وسنرمز للموجة الضوئية بدائرة واحدة فقط من قبيل التيسير) بأنها منتظمة بلا اعوجاج أو ازاحة ٠ وكلمـــا اقترب « الحدث الأفق » تزحزحت دائرة الضوء أكثر فأكثر فى اتجاه النجم ٠ أما الحدث الأفق فى حد ذاته فيتميز باللحظة التى لا يكون فيها من شأن حد الموجة الضوئية البعيد أن يتحرك مطلقا ، ويحدث ذلك عندما يأتى موقع النقطة على الحد البعيد من دائرة الضوء (تلك اللحظة مبينة بشـــكل أكثر وضوحا فى

الشكل (٤ ـ ١٣ جـ) • ولا ينبغى أن يغيب عن ذهننا أن الموجة الضوئية مازالت تنتشر محليا بسرعة الضوء ولكنها تتعرض لقدر من الزحزحة بحيث ان اقصى ما يمكن أن يصل اليه الضوء هو أن « يحدد » هذه اللحظة ويبقى ثابتا عندها • ومن ثم فمهما طال انتظار مراقب بعيد من النجم ، فلن يرى مطلقا هذه الموجة الضوئية التى تصارع دون جدوى قوة الجاذبية •

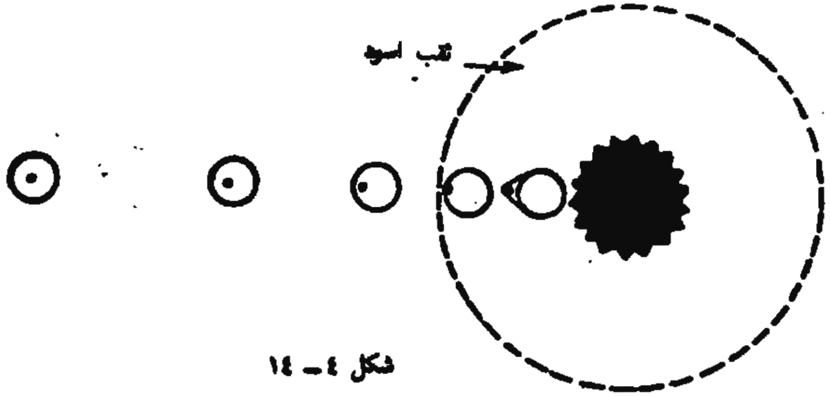
ويماثل هذا الوضع حالة عداء يجرى على مضمار متحرك ، فمهما أسرع الخطى سحبه المضمار للخلف • ويمثل العداء هنا الموجة الضوئية



شكل ٤ ـ ١٣

الشكل ٤ ـ ١٣ : من مظاهر اعوجاج المكان ـ الزمان ان الضوء يبدو كانه ينجرف بفعل الجاذبية • وتمثل النقطة فى هذا الشكل مصدرا ضوئيا يشع ومضة ضوء فى كافة الاتجاهات • اما الدوائر فتمثل الاوضاع المختلفة للموجة الضوئية على مراحل متتالية بعد ذلك • فى الشكل (ا) لا يوجد مجال جاذبية ولذلك نلاحظ ان الموجات تنتشر للخارج بشكل منتظم فى كافة الاتجاهات • وفى الشكل (ب) نلاحظ ان مجال الجاذبية فى اتجاه اليسار يعمل على تحريك الدوائر صوب هذا الاتجاه • ويمثل الشكل (ج) عملية تصعيد للوضع عندما نقترب من حد شفارزشيلد (المبين فى الشكل ٤ ـ ١٤) ، حيث تقع النقطة على مسافة ثابتة من مركز النجم وتتعرض الدوائر المدار من الزحزحة بحيث لا يمكن لحدودها اليمنى ، التى تمثل حدود الموجات الضوئية الخارجة بعيدا عن النجم ، ان تتحرك لابعد من ذلك • وهذا يعنى ان النقطة لن يرصدها اى مراقب بعيد (الى اليمين) مهما طال انتظاره • اما الشكل (د) فيمثل الوضع داخل حد شفارزشيلد • ومرة ثانية تقع النقطة على مسافة ثابتة من مركز النجم ، ولكن زحزحة الدوائر فى هذه الحالة تكون كبيرة لدرجة ان الموجة الضوئية بكلا اتجاهى انتشارها (الداخلى والخارجى) ستتحرك صوب النجم جارفة معها اى شىء يصادفها •

أما المضمار المتحرك فهو يمثل ـ مع التبسيط الشديد ـ المكان ـ الزمان المنقبض على هيئة ثقب أسود ٠



شكل ٤ ـ ١٤

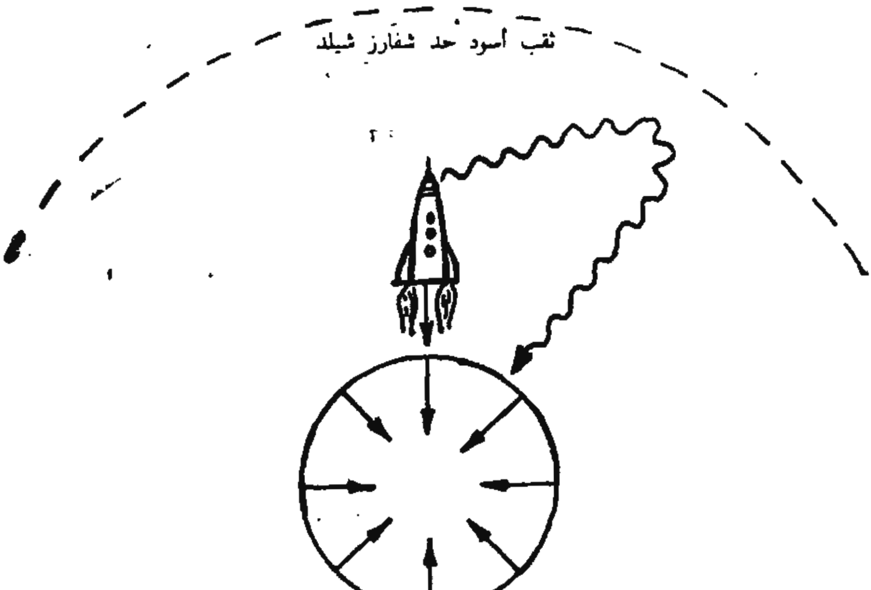
الشكل ٤ ـ ١٤ : مسلك الموجات الضوئية بالقرب من ثقب اسود ٠ من شان دائرة الموجة الضوئية اذا وقعت داخل حد شفارزشيلد (الخط المتقطع) ، ان تتجه كلها ، بطرفيها المبتعد والمقترب ، صوب مركز النجم ، ولن يتمكن اى مراقب بعيد ان يرى الاحداث الواقعة داخل هذه المنطقة من المكان ـ الزمان انه لن يرى سوى الموجات الضوئية الواقعة فى المنطقة الخارجة على الدئراة المتقطعة ٠ اما المنطقة داخل هذه الدائرة فهى فراغ وسوداء ـ انها ثقب اسود ٠

أما داخل « الحدث الأفق » فيبلغ من مقدار الزحزحة أن دائرة انتشار الموجة الضوئية ، باتجاهيها المقترب والمبتعد ، تتجه فى الواقع للداخل رغم استمرار اتساعها وتباعد أطرافها بسرعة الضوء ٠ وهذا يعنى أن الحدث الذى يشع الضوء لن يراه أحد مطلقا من خارج الثقب الأسود ، أى لا مجال مطلقا لافلات مثل هذه الموجات الضوئية ٠ وكلما اقتربنا من الجوف ازدادت شدة الجذب وكبر مقدار الازاحة ، وبعد برهة ضئيلة ، ما أن يتولد أى شىء حتى ينجرف مباشرة صوب المركز ٠

ولما كانت سرعة الضوء هى السرعة الطبيعية القصوى التى لا يمكن لاى جسم أن يتجاوزها ، فمن الواضح انه لو حدث ودخل مراقب فى واحدة من دوائر الضوء ، فسيبقى فيها وهى تنجرف صوب جوف النجم ٠ وحتى لو ركب هذا المراقب أقوى صاروخ فى الكون ، فلن يكون بوسعه الفكاك الى العالم الخارجى مرة أخرى ، أو حتى أن يظل فى مكانه ، وما من قوة فى الوجود من شأنها أن تحول دون أن ينجرف ويغوص الى الداخل ، ليظل الى الأبد محبوسا فى أكثر سجن معزول فى الكون دون حتى أن يتمكن من ابلاغ العالم الخارجى بمصيره ٠ فلا سبيل الى خروج أى شىء على.

الاطلاق من الثقب الأسود • بل ان النجم ذاته سيشارك فى هذا المصير حيث ستنقبض مادته الى الداخل بشكل مذهل يفوق أى خيال •

ورغم أن تفاصيل مرحلة الانهيار الانقباضى ترتهن بشكل ما بالتكوين الداخلى للنجم وبنيته فان وضعه الأخير المتجمد يبدو من بعيد مستقلا عن ذلك • ونتيجة لعملية الانقباض والزحزحة الحمراء الناجمة عن الجاذبية سيضعف الضوء المنبعث من سطح النجم ، بسرعة تصاعدية فائقة ، وان هى الا بضعة آلاف من الثوانى حتى لا يرى شيء بالمرة من ذلك السطح سوى السواد ـ لقد تحول النجم الى ثقب أسود • ومن ثم لن تتيح مراقبة الثقب الأسود توفير أية معلومات عنه ، وأية ثقوب سوداء « شفارزشيلدية » متساوية فى كتلها ستبدو متشابهة تماما • بل أكثر من ذلك انه لا يمكن التمييز بينها عن طريق قياس التأثيرات الطبيعية الدقيقة مثل القوى النووية



شكل ٤ ـ ١٥

الشكل ٤ ـ ١٥ : داخل الثقب الاسود : لو اجتاز مراقب حد شفارزشيلد فلن ينجح مطلقا فى الخروج مهما حاول ، حتى ولو ركب صاروخا • بل ان حتى اشارات الاستغاثة التى سيرسلها لن تصل ، وستتجه بدلا من ذلك فى عكس الاتجاه المرسلة اليه ، حيث ستنجرف صوب المركز • اى انه لا فكاك ، لأنه فى اللحظة التى يستغرقها سقوطه فى الثقب الأسود ، والتى تفوق الخيال فى قصرها ، يكون قد مر الدهر كله فى العالم الخارجى•

أو المجالات المغناطيسية • وتفيد النظرية الحالية بأنه أيا كانت مكونات الثقب الأسود ، سواء من المادة العادية أو المادة المضادة أو النيوترينات ،

فلا سبيل حتى الى التعرف على أوجه الاختلاف بينها بأية وسيلة طبيعية معروفة ٠

وقد يبعث على الدهشة والابهار أن نفهم كيف يحول الثقب الاسود دون أن يعرف المراقب الخارجي ماهية مكوناته ٠ فلا مجال مطلقا لأن ندلى على سبيل المثال حبلا ينتهى بكلابات الى سطح الثقب سعيا الى التقاط عينة من مادته ، أو أن نطلق صاروخا فى اتجاهه لأن الجاذبية ستسحب أى شيء الى الداخل بشكل عنيف ، ولا سبيل الى العودة ٠ ولن تسفر عن شيء أيضا عملية تسليط ضوء قوى صوب الثقب الأسود ، فسيلقى الضوء نفس مصير الحبل والصاروخ ، حيث ستمنع الجاذبية الجارفة الموجات الضوئية من الانعكاس ٠

ولن تثمر كذلك أية محاولة للصق « بطاقة » على الثقب الأسود ، ولو تم على سبيل المثال تثبيت أية لوحة من الشحنات الكهربية على سطح المادة المنقبضة ، فلن تختفى مع اقترابها من حد شفارز شيلد ولكن سيتعرض مجالها الكهربى للاعوجاج نتيجة انحناء المكان حول الجسم ، بحيث ستبدو كل الشحنات من بعد وقد تركزت صوب جوف المادة ٠ ومن ثم ستفقد اللوحة معالمها ولن تتسنى « قراءتها » ٠ وتفيد كل الحسابات التى أجريت لاختبار مدى ما يمكن أن يتحقق من نجاح فى « قراءة » كافة أنواع « البطاقات » باستخدام القوى الطبيعية بما فيها القوى الكهرومغناطيسية ، بأن الكتلة الاجمالية والشحنة الكهربية الاجمالية تشكلان البصمة الوحيدة التى يتركها النجم المنقبض ، فى العالم الخارجى وأية معلومات أخرى تنجرف وتنسحق مع الانقباض ٠

وتنسحب ذات الاعتبارات كذلك على حالة انقباض الأجسام غير الكرية ، حيث سيبدو أيضا الثقب الأسود الناجم عن انقباضها على هيئة كرية فى نظر المراقب البعيد ٠

ولعلنا نكون قد فهمنا الآن سر اطلاق اسم « الثقب » على النجوم من هذا القبيل ٠ ورغم أن المادة المنقبضة تبدو من بعيد أكبر من حد شفارز شيلد بشكل مستديم ، فلا سبيل مطلقا لكشف طبيعة هذه المادة ، كما أنه ليس من شأن بنيتها أن تؤثر بشكل ملموس على الفلك البعيد بحيث لا يمكن بجميع المقاييس الوصول الى هذه المادة ـ لقد انعزلت تماما عن الكون ٠ ان الكرة الداكنة المتبقية من ذلك النجم هى أشبه ما تكون بثقب فى الفضاء ـ مجرد ثقب أسود ٠

ولقد تركزت مناقشاتنا حتى الآن فى هذا الموضوع على الشكل الذى تبدو عليه المادة المنقبضة لو رصدت من بعيد ٠ وأيا كانت عجيبة هذه

الأحداث على النحو الذى تبدو عليه من بعيد ، فان تجربة المراقب المثبت على سطح الجسم المنقبض تأخذ أبعادا مختلفة تماما فى غرابتها .

فمع سقوط هذا المراقب مع المادة المنقبضة تزداد تدريجيا شدة الجاذبية على سطح النجم . واذا لم يكن لهذه الجاذبية تأثير محلى على الجسيمات الساقطة سقوطا حرا ،فان الأمر يختلف بالنسبة لجسم ممدود فى حجم جسد المراقب مثلا ، حيث سيبدأ فى التعرض لقوى مدية ، ويعزى ذلك الى أن الجسم المنقبض سيصل حجمه الى درجة من الضآلة بحيث ان تأثير الجاذبية سيختلف فى شدته واتجاهه حتى بالنسبة لأبعاد فى مثل طول الانسان ، ولو كانت قدما المراقب فى اتجاه جوف النجم فسوف يتعرض جسمه للاستطالة لان الجاذبية عند قدميه ستكون أشد منها عند راسه . ولما كان المكان من حوله ينقبض بسرعة مذهلة فسوف يتعرض المراقب أيضا للانكماش بل والسحق ! ولو افترضنا ان هذا المراقب يتمتع بجسم ضئيل بالغ القوة بحيث يتحمل لفترة هذه القوى المدية فسوف يستمر مع سقوطه يتابع كل ما حوله مهما تعقدت البنيات واختلفت التركيبات وغاب كل شىء عن العالم الخارجى .

ولا يتغير هذا السيناريو بأى شكل من الأشكال اذا ما أخذنا فى الحسبان تأثير الضغوط (وهو الاعتبار التبسيطى الذى افترضناه فى البداية) . فاذا كان من شأن المادة فى ظل الظروف العادية أن تتحمل الضغوط العالية ، وكلما زادت صلابتها اشتدت مقاومتها للسحق ، فانها ستفقد هذه المقاومة تماما لو تحركت بسرعة تقترب من سرعة الضوء على نحو ما أشرنا اليه فى الباب الثانى . ونحن نعلم أن جميع الخصائص الطبيعية للمادة محدودة بالسرعات الأقل من (ض) . وبالتالى فان أى جسم غير قابل للانضغاط فى حالة السكون سيتعرض لا محالة للانهيار فى حالة السقوط بسرعة داخل الثقب الأسود . ومما يزيد من غرابة الأمر أنه كلما كانت مقاومة الجسم أشد كان انجرافه نحو الجوف أعتى ، لأن الضغط فى حد ذاته يعد ــ وفقا لنظرية النسبية العامة ــ مصدرا للجاذبية . ومهما بذل من جهود فى مقاومة السقوط فان كل المادة (بما فيها ذلك المراقب وصاروخه) سوف تبلغ مركز الثقب الأسود فى زمن لا يتجاوز واحدا على عشرة آلاف من الثانية (حسب الوقت المقاس) من بعد اجتياز « الأفق » .

وتفجر هذه النتيجة واحدا من أعقد الألغاز فى العلم الحديث : فماذا يحدث فى جوف الثقب الأسود عندما ينتهى المطاف بالمادة هناك ؟ وكثيرا ما يطرح هذا السؤال جانبا باعتبار أن أيا ما يحدث داخل الثقب الأسود فلن يأتى بأية عواقب على العالم الخارجى . غير أنه ليس من شأن مثل هذه

الاعتبارات أن « تثنى عزم » الفضول العلمى ، ومن ثم لم تنقطع المحاولات الرامية الى حل هذا اللغز المثير ·

ولكن قبل بحث هذه الاعتبارات يحسن بالقارىء أن يضع هذه المناقشة فى اطارها السليم ، فأولا وأخيرا ما نظرية النسبية العامة ـ التى تقوم عليها كل الدراسات المتعلقة بالثقوب السوداء ـ الا مجرد نظرية صحيح أن نتائجها تتحقق فى نطاق مجالات الجاذبية الموجودة فى المجموعة الشمسية ، ولكن داخل الثقوب السوداء تتعاظم الجاذبية الى الملايين من مثل قيمتها فى عالمنا · فلا أحد يعلم الى أى مدى يمكن أن تنطبق هذه النظرية بشكل صحيح وبأية درجة ، وأى من سماتها سيظل ساريا لو ظهرت نظرية أفضل منها · فنحن نعلم أن لكل نظرية حدودها · ويبعثنا ذلك على ان نبحث الى أى مدى ستأخذنا نظرية النسبية العامة ، فقد تكتشف فى الطريق شيئا مهما · وربما كان ذلك هو السبيل الوحيد لمعرفة ما يحدث داخل الثقوب السوداء دون السقوط فى واحد منها · ومع ذلك فلا ينبغى أن نغفل أننا نتحدث عن العالم المبنى على نماذج للثقوب السوداء وليس عن العالم الحقيقى ·

فمع استمرار الانكماش الكرى العاصف تتضاعف كثافة المادة داخل النجم بشكل متصاعد ، ولقد بلغت بالفعل درجة مذهلة من الانضغاط وصارت كل خصائصها مجهولة · وتتعاظم أيضا القوى المدية ويتزايد انحناء المكان على سطح المادة المنقبضة بسرعة تصاعدية مما يؤدى الى سحق كل البنيات المحتملة · وتؤكد نظرية النسبية بأنه ليست هناك نقطة معينة يتوقف عندها هذا الانكماش الا لو تعرضت المادة لشىء غير مألوف · ومن شأن أية نظرية علمية طبيعية عندما تتطرف الى حدها الأقصى أن تصل فى المعتاد الى شىء أخرق · ويتمثل هذا الشىء الأخرق فى حالة الثقوب السوداء فى التكهن بأن كل المادة التى يتكون منها النجم ستسحق وتنقبض الى نقطة واحدة (من وجهة نظر الرياضيات) · وعند هذه المرحلة ستصل كثافة المادة وانحناء المكان الى قيم لا نهائية · ويطلق على هذا الشىء الأخرق فى علم الرياضيات اسم (singularity) بمعنى المنتهى المبهم أو الفذاذة ، وليست الفذاذة شيئا ماديا وانما هى نقطة النهاية التى تؤول اليها كل أنواع الفيزياء المعروفة ·

ولقد اتفق فى وقت من الأوقات على أن الفذاذة هى نتيجة مرهونة بطبيعة النموذج المستخدم فى دراسة الانقباض الناجم عن الجاذبية · فلو افترضنا دائما ان النجم المنقبض كرى الشكل فلا بديل عن انه سيتقلص إلى نقطة لو استمرت عملية الانقباض · ومن المنطقى ان نفترض أن المادة فى العالم الحقيقى ستتقلص الى نقطة قريبة جدا من المركز الحقيقى

للجسم . غير انه لا يبدو أن الفذاذة ترتهن بشكل صارم بالنموذج المفترض للمادة المنقبضة . ولقد أثبت اثنان من علماء الرياضيات البريطانيين هما ستيفن هوكنج Stephen Hawking وروجر بنروز Roger Penrose في واحدة من سلسلة النظريات المقصورة على البنية الطبوغرافية للمكان ـ الزمان ، أن الأمر سيؤول حتما الى فذاذة طالما لم يحدث تغير خارق فى طاقة المادة المنقبضة وضغطها .

ومما يبعث على الأسف ان هذه النظريات لا تنطوى على شيء يذكر من المعلومات بشأن طبيعة الفذاذة ، والمفهوم الوارد فى تلك النظريات بشأنها يقل كثيرا في وضوحه عن وصف ما يحدث فى مركز الانقباض الكرى ، وكل ما يمكن أن يقال فى هذا المجال هو أن أى مسار لجسيم ما عبر المكان الزمان لابد أن ينتهى ، أى أن أى جسيم يسقط فى هذا المسار لا يمكن أن يبقى في المكان ـ الزمان . ويقال أحيانا في وصف ذلك ، بأن هناك حدا أو حافة للمكان ـ الزمان ، أو أن المكان ـ الزمان يصل الى منتهاه عند الفذاذة . ويقال أيضا ان أية مادة تصادف فذاذة تخرج توا من المكان ـ الزمان . ولا توضح نظريات هوكنج ـ بنروز ما اذا كانت المادة المنقبضة ستصطدم بالفعل بالفذاذة أم لا . وعلى أية حال فاذا لم تتمكن المادة من الخروج من المكان ـ الزمان من هذا الطريق فلا مجال مطلقا لأن تعود مرة أخرى الى عالمنا حيث انها ستدخل في مصيدة « الحدث الأفق » . ويتسع المجال فى بعض النماذج المفترضة للثقوب السوداء ، والتى تتسم بدرجة من العمومية تفوق حل شفارز شيلد ، بحيث تسمح للثقب بأن يدور وبأن يحمل شحنة كهربية . بل ان بعضا من هذه النماذج يصور سمة غريبة تتمثل فى أن المادة قد يكون من شأنها أن تتلافى الفذاذة وتعبر الى مناطق جديدة من المكان ـ الزمان تتصل بعالمنا من داخل الثقب الأسود . وتتسم هذه « الأكوان الأخرى » بالطبع بأنها متوارية خلف « الحدث الأفق » . وتفيد مثل هذه النماذج الخاصة فى أنها تفتح المجال للتوصل الى شيء ما بشأن طبيعة المكان ـ الزمان ، ولكن لا ينبغى أن ننظر اليها كنماذج للكون الحقيقى .

ولا شك أن التنبؤ بوجود فذاذات فى المكان ـ الزمان يفجر مسائل بالغة الغموض ، حيث اننا لايمكن أن نستمر فى استخدام الفيزياء العادية فى مثل هذه المناطق وبالتالى لايمكن التنبؤ بما يمكن أن تسفر عنه .

وقد بعثت هذه السمة البغيضة للفذاذات روجر بنروز الى طرح افتراض بوجود « ميزان اقصاء كونى » ويقضى هذا الافتراض بمنع حدوث الفذاذات ما لم تكن داخل « الأحداث الأفق » ، ومن ثم فليس من شأن

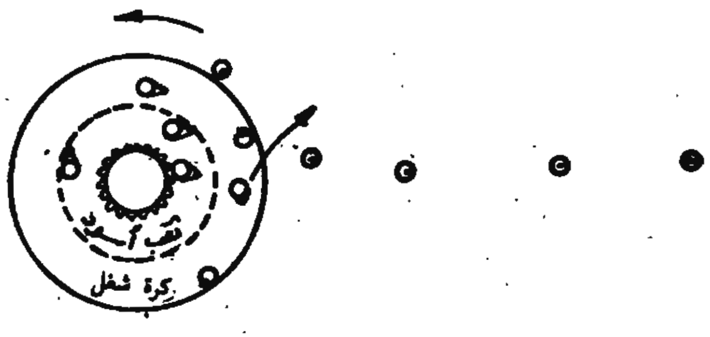
الفذاذة الموجودة داخل ثقب أسود أن تأتى بأية تأثيرات مجهولة على العالم الخارجى . وترجح الدراسات الرياضية بشكل كبير صحة مسألة « ميزان الاقصاء الكونى » غير أنه لم يتوصل أحد حتى اليوم الى اثبات ملموس لها .

ولو ثبت عدم صحة هذه المسألة فمن الوارد تكوين فذاذات « عارية » (أى يمكن رؤيتها من مسافات بعيدة) . وقد بلغ الأمر ببعض الكتاب أن تكلموا بكآبة بالغة عن العواقب الوخيمة التى يمكن أن تسفر عن مثل هذا الاحتمال على سائر الكون . ومع ذلك ، فلا يجب أن يغيب عن الأذهان أن النظرية الحالية ما هى الا نظرية تقريبية . فلو نظرنا على سبيل المثال الى تلك المسافة متناهية الضالة (١٠ –٣٣ سم) ، فسنجد أن العوامل الكمية (التى سنتناولها بايجاز فى القسمين ٤ ـ ٤ و ٤ ـ ٥) من شأنها أن تؤثر على الجاذبية بطريقة لا يمكن للنظرية الحالية أن تصفها . ولا يمكن لأحد أن يعرف ما يمكن أن يكون من أمر الفذاذات فى ظل الجاذبية الكمية . وقد تظهر على مدى السنوات القليلة القادمة رؤية مختلفة تماما بشأن مفهوم الفذاذة .

٤ ـ ٤ ـ الثقب الأسود محطة لتوليد القوى

ولا يعد الثقب الأسود « الشفارز شيلدى » هو النوع الوحيد المعروف لدى العلماء ، فهناك أنواع أخرى يمكن من حيث المبدأ أن تتكون من مادة مشحونة كهربيا أو من مادة فى حالة حركة دورانية . ولا يختلف الأمر فى هذه الأنواع فيما يتعلق بالشكل العام للانقباض وبالأفق والفذاذة . غير أن الدراسات الرياضية الرامية الى اكتشاف بنية المكان ـ الزمان فى هذه الأنواع من الثقوب السوداء تظهر بعض السمات الجديدة المبهرة .

ويوضح الشكل (٤ ـ ١٦) تأثير الدوران على خصائص المكان ـ الزمان المحيط بثقب أسود فى حالة حركة دورانية . ويمثل الشكل مقطعا عموديا على محور دوران الثقب الأسود ويمر بمركزه . ونلاحظ مرة أخرى أن دوائر الموجات الضوئية تنجرف للداخل صوب المركز ، علاوة على أنها تنجرف أيضا مع الحركة الدورانية حول الجسم ، أى أنها ستتحرك فى اتجاهين : للداخل وفى اتجاه عرضى . وتمثل الدائرة الكبيرة ، المرسومة على مسافة معينة من المركز تسمى الحد الاستاتيكى ، حدا فاصلا تتحرك داخله دوائر الضوء بأكملها خارج الدائرة المتقطعة ، فيما يشبه الدوامة . ولو سقط أى جسم فى هذه الدوامة ، فسيدخل فى حركة حلزونية غير مرئية فى الفضاء تتجاوز سرعتها سرعة الضوء ، وما من قوة فى الكون من شأنها أن تحول دون انجراف هذا الجسم فى هذه الحركة الدورانية .



الشكل ٤ ـ ١٦ . الثقوب السوداء الدوارة • تنجرف دوائر الموجات الضوئية في اتجاهين : للداخل وحول الجسم • وتبلغ شدة الانجراف داخل الدائرة الخارجية (الحد الاستاتيكي) درجة تجعل كل الموجات الضوئية ، سواء تلك التي تتحرك في اتجاه الدوران ذاته او تلك المتحركة عكسه ، تدور في عكس دوران الساعة • غير انه مازالت هناك فرصة للاشارات الضوئية المنبعثة من حدود الموجات الضوئية ، وهي الحدود الابعد من مركز النجم ، لان تفلت وتتجه صوب مراقب بعيد عن هذه المنطقة • اما داخل الدائرة المتقطعة فان الانحراف يكون فائقا بحيث ان الحدود الخارجية من دوائر الموجات الضوئية تتحرك للداخل • وهذه هي منطقة الثقب الاسود التي لا يمكن ان تفلت فيها اشعة ضوئية •

ورغم السقوط في هذه الدوامة الجارفة ، مازالت هناك فرصة لمن تقوده المغامرة الى هذه المنطقة ، لأن ينجو ويخرج منها ويعود الى مسافة آمنة • يوضح الشكل ٤ ـ ١٦ أسلوب الفكاك ! فرغم أن الدوائر تتحرك بأكملها الى أبعد من الدوائر المتقطعة ، لا يتخذ التحرك اتجاه المركز مباشرة بل انه يميل الى واحد من الجانبين • ويلاحظ بالنسبة لدوائر الموجات الضوئية أن حدودها الخارجية البعيدة عن المركز مازالت تتحرك تدريجيا للخارج • ومن ثم يمكن لبعض الموجات الضوئية أن تفلت بهذه الطريقة ، وبالتالي يمكن أيضا أن يفلت مراقب متحرك بسرعة أقل من سرعة الضوء • أما على مسافة أقرب الى المركز فهناك حدث أفق حقيقي ، ممثل في الشكل بالدائرة المتقطعة • ويبلغ من شدة الانجراف داخل هذه الدائرة أنه يحول تماما دون افلات أي ضوء أو مادة من هذه المصيدة •

ويطلق على هذه المنطقة العجيبة ، الواقعة بين الحد الاستاتيكي والحدث الأفق ، اسم كرة الشغل (ergosphere) بسبب الاحتمال الغريب التالي ، والذي اكتشفه روجر بنروز • فلو أن جسما انقسم الى جزءين أثناء وجوده في هذه المنطقة • وسقط جزء منهما في الثقب الأسود ،

تفيد الحسابات بأنه لو جرت الأمور بشــكل طبيعى فان الجزء الآخر سيطفو ويعود بقدر من الطاقة يزيد على ذلك المقدار الذى دخل به ! ويعزى ذلك الى انتقال بعض من طاقة دوران الثقب الأسود الى الجزء الذى يطفو • ولذلك أطلق على هذه المنطقة اسم كرة الشغل (ergosphere) وهو اسم مستوحى من (ergos) اليونانية وتعنى الشغل • ويفيـد هذا التفسير بأنه يمكن من حيث المبدأ تعزيز طاقة الجزء الذى يطفو بكمية تعادل كل كتلة الجزء المنحرف الى الداخــل ، بما يجعل من الثقب الأسود الدوار أنشط آلية فى الوجود لتحويل الطاقة • وقد يصور مدى فعاليتها أن نقارن بين الثقب الأسود كمصدر للطاقة وبين عملية الاندماج النووى التى تولد الطاقة فى الشمس ، حيث لو قدرناها بنسبة ١٠٠٪ لن تزيد فعالية الاندماج النووى على ١٪ •

وتنعكس هذه العملية على الثقب الأسود ذاته حيث تؤدى الى ابطاء حركته نوعا ما • ومن ثم تتسم الطاقة المتولدة وفقا لنظرية بنروز بأنها محدودة بشكل ما • ويمكن وصف تلك العملية بقصة طريفة تصور حضارة وهمية قائمة حول ثقب أسود دوار ويرسل أهل هذه الحضارة كل يوم بنفاياتهم ومخلفات تكنولوجياتهم الى « كرة الشغل » فى شاحنات لتفرغها عبر الحافة وتعــود حاملة مقدارا من الطاقة يوازى كتــلة هذه المخلفات وتستخدم لصالــح هذا المجتمع ، وبذلك يتســم الثقب الأسود بفائــدة مزدوجة ، فهو لا يخلص ذلك المجتمع من نفاياته فحسب ، بل انه يدفع فى الواقع ثمن هذه الخدمة أيضا فى صورة طاقة ، انه يعد بمثابة محطة لتوليد الطاقة ، وقودها أى شىء أيا كان !

وتذكر صورة الثقب الأسود كآلية لتوليد الطاقة بالوضع الذى كان يواجه المهندسين والفيزيائيين فى القرن التاسع عشر عندما كانوا يسعون الى فهم المبادىء العــامة التى تحكم كفاءة الماكينات العــادية على الأرض وقدرتها • ولقد أدت دراسة المحركات الحرارية ــ وهى آليــات تحول الطاقة الحرارية الى شغل والعكس ــ الى انشاء فرع جديد فى العلم نعرفه الآن باسم الدينامكا الحرارية (thermodynamics) ويعد هذا العلم أساسيا لفهم طبيعة الزمان فهما صحيحا ، ولقد تناولناه بالمناقشة بقدر أكبر من التوسع فى الباب الثالث • ويكفينا فى سياق المناقشة الحالية أن نقول ان هذه الدراسة أسفرت عن اكتشاف مبدأ جوهرى بالغ العمومية يعرف باسم القانون الثانى للدينامكا الحرارية • ويقضى هذا القانون بأن الانتروبيا الاجمالية فى أية منظومة طبيعية لا يمكن أن تقل • ولو طبقنا هذا القانون على المحركات الحرارية ، فسنجد أن كفاءة خرج الماكينات من

الطاقة تبلغ حدها الأقصى في الحالات التي تبقى فيها الانتروبيا ثابتة وهى حالات العمليات المعكوسية أى التي يمكن أن تجرى فى الاتجاه والاتجاه المعكوس • ومن شان العمليات دائما في العالم الحقيقي أن ترفع نوعا ما الانتروبيا الاجمالية • ويعد ذلك مثالا لعدم التناظر فى الزمان على نحو ما أوردنا في الباب السابق • وهذا يعنى ان الانتروبيا فى ازدياد مستمر •

وتتسم الثقوب السوداء كذلك بنوع مميز من عدم التناظر الزمنى ناجم عن الخصائص الفريدة للحدث الأفق•ونذكر بأن الحدث الأفق هو سطح يسمح بعبور الطاقة الى داخل الثقب الأسود ولا يسمح مطلقا بخروجها • ويمكن القول ببساطة انه نتيجة سقوط الأشياء فى الثقوب السوداء فانه يبدو ــ ظاهريا فقط ــ أن حجمها يتزايد ولا ينقص مطلقا • وتعد مساحة سطح الحدث الأفق بمثابة قياس كمى لحجم الثقب الأسود • ولقد أثبت ستيفن هوكينج نظرية مهمة تستبعد تماما احتمال تناقص سطح الحدث الأفق أيا كان ما يجرى داخل الثقب الأسود • وتتماثل هذه النظرية بشكل مباشر مع القانون الثانى للديناميكا الحرارية حيث يلعب الحدث الأفق هنا دور الانتروبيا • ويمكن أيضا أن يستخدم هذا الحدث لوضع حدود لمدى فعالية العمليات فى الثقب الأسود ، ويتعلق أحد الأمثلة فى هذا السياق بعملية اندماج اثنين متماثلين من الثقوب السوداء الشفارز شيلدية • ويتبدى بعملية حسابية بسيطة انه فى حالة الحد الأقصى من الفعالية (أى فى حالة عدم تغيير مساحة سطح الحدث الأفق) تصل قيمة الطاقة الاجمالية التى يمكن أن تستمد من المنظومة الى ٢٩٪ من الكتلة ــ الطاقة الأصلية •

ولقد كانت أوجه التماثل هذه بين الثقوب السوداء والحركات الحرارية مجرد نوع من الفكاهة بين العلماء حتى بضع سنين مضت • وما كان أحد يتوقع أن يبرز احتمال استخدام الثقوب السوداء كآليات لانتاج الطاقة • ثم أعلن عن التوصل الى اكتشاف مدهش لم يؤكد صحة الصلة مع الديناميكا الحرارية فحسب وانما كشف عن مبادىء طبيعية جديدة يمكن أن تفتح آفاقا أرحب بكثير من الحدود الأكاديمية الضيقة لنظرية الثقوب السوداء ، وأن تسلط أضواء جديدة على طبيعة الجاذبية ذاتها •

ويتمثل أحد أنواع الصدع فى الصلة مع الديناميكا الحرارية ، فى أن الأمر كان يبدو مجرد تماثل • فلم تكن خاصية مثل درجة الحرارة (temperature)، وهى خاصية أساسية فى أية مناقشة تتعلق بالحرارة ، تنطبق فيما يبدو على الثقوب السوداء ، لأنها على وجه التحديد سوداء • فمن شأن أى جسم أسود تماما ألا تكون له حرارة ، أى أن درجة حرارته

تساوى صفرا · لابد اذن أن يكون الثقب الأسود باردا ، بل أبرد من أى شىء آخر فى الكون · ولم تكن فكرة وجود ثقب أسود ساخن تلقى فيما يبدو قبولا كبيرا ·

وقد لاح أول مؤشر لاحتمال ألا تكون الثقوب السوداء سوداء تماما ، من دراسة عملية مماثلة لعملية بنروز لاستخراج الطاقة ، ولكنها طبقت على الموجات الضوئية بدلا من الجسيمات ، حيث يمكن أيضا تقوية الطاقة بالنسبة للضوء·وتسمى هذه العملية الاشعاع الفائق (superradiance) وهى تماثل عملية انتاج الليزر · وتتكون كلمة الليزر (laser) من الحروف الأولى لعملية (Light amplification by the stimulated emission of radiation) أى تقوية الضوء عن طريق تحفيز الانبعاث الاشعاعى ، وهى عملية ترمى الى أن تجعل الذرات تشع ضوءا عن طريق تحفيزها بمزيد من الضوء·من نفس التردد · ولا يمكن فهم هذه العملية بشكل صحيح الا من خلال قوانين الفيزياء الخاصة بالمنظومات الميكروسكوبية ، والتى تسمى بنظرية الكم quantum theory ، وسوف نتحدث قليلا عن هذه النظرية فى القسم القادم وتفيد النظرية بأنه من شأن الذرات أيضا· أن تصدر أشعة ضوئيـة بشكل تلقائى أى بدون تحفيز · ويعد الاشعاع التلقائى هو الأسلوب الأساسى الذى تصدر به معظم الأجســـام ضوءها (ومنها الشمس على سبيل المثال) ·

وقد طرح عالم الفيزياء الفلكية السوفيتى ى · ب · زيلدوفيتش Ya B. Zeld'ovich فكرة مؤداها أنه لو كانت الثقوب السوداء الدوارة تعمل على تعزيز الطاقة الضوئية عن طريق الاشعاع الفائق ، فمن شأنها أيضا أن تصدر ضوءا بالاشعاع التلقائى · وكانت تلك أول فكرة بشأن امكان تطبيق نظرية الكم على الثقوب السوداء · ثم تولى هذه المســألة الفيزيـائى الكندى وليم أونرو William Unruh الذى أكد وجهة نظـر زيلدوفيتش وأثبت رياضيا أن من شأن الثقب الأسود الدوار أن يصدر بالفعل ضوءا ضعيفا · وكلمة ضعيف هى الوصف المناسب ، لأن الطاقة المنبعثة بهذا الأسلوب من ثقب أسود بكتلة توازى كتلة الشموس ، ستكون على الارجح أضعف من أن ترصد · ومع ذلك فمن الأهمية بمكان أن نفهم بشكل صحيح الآلية المتسببة فى انتاج الاشعاع الضوئى · ورغم أن نظرية عمليات الكم فى المكان ــ الزمان المنحنى ، التى استخدمها أونرو ، ما زالت فى بدايات طور التجريب ، فقد يكون من المناسب تقديم صورة سريعة عن اطارها الفيزيائى لأصحاب الفضول من القراء ·

ويعنى ظهور اشعاع ضوئى ذاتى منبعث من ثقب أسود دوار أن بعضا من طاقــة الدوران قد تحول الى طاقة كهرومغناطيسيه · ويمكن بشــكل عام تصوير الأسلوب الذى يتم به هذا التحول ، بالرجوع الى الدوامة الفضائية المحيطة بالجسم الدوار · فمن شأن الانجراف العنيف أن يولد نوعا من الخلل فى المجال الكهرومغناطيسى مما يؤدى الى انبعاث موجات من الطاقة هى الموجات الكهرومغناطيسية ، ويشمل هذا الخلل أيضا النيوترينات وموجات الجاذبية · ويجدر القول بأن الاشعاع الذى نتحدث عنه فى هذا السياق ليس مستمدا من أى نوع من المادة ـ وهى المصدر العادى للطاقة الضوئية . فالمنطقة المحيطة بالثقب الأسود خالية تماما من المادة · اذن ، فالاشعاع هنا مستمد بشكل مباشر من الفضاء الخالى ذاته ! وبالتالى ليست الدوامة الفضائية المحيطة بالثقب الأسود مختفية تماما ، فهى تضوى بنور كمى ضعيف ·

ولكن أيا كان ما تعنيه هذه النتيجة فهى لا توفر بشكل كامل درجة الحرارة المطلوبة لتعزيز الصــلة مع الديناميكا الحرارية · واذا كان النموذج الذى وضعه شفارز شيلد للثقب الأسود لا يدور فهذا يعنى أنه لن يصدر الاشعاع الذى يتحدث عنه زيلدوفيتش وأونرو · ولا يمكن أيضا القول بأن هذا الاشعاع له درجة حرارة مميزة لأن مجال تردده لا يتناسب مع خصائص جسم فى حالة توازن حرارى · ولقد جاءت الحلقة المفقودة عن طريق ستيفن هوكينج الذى عالج تلك المسألة رياضيا بعد أن بدت فى مطلع الأمــر معقدة بدرجة تبعث على اليــأس · فبدلا من أن يطبق هوكينج نظرية الكم على المرحلة الأخيرة المتمثلة فى الثقب الأسود ذاته ، طبقها على مرحلة الانقباض تحت تأثير الجاذبية ، فخلال هذه المرحلة يحدث ذات النوع من الخلل فى المجال الكهرومغناطيسى وتنبعث أيضا من الجسم المنقبض موجات من الطاقة الضوئية · ومرة أخرى لا تصدر الطاقة فى هذه الحالة أيضا من مادة النجم مباشرة ، وانما هى تنتج عن المكان ـ الزمان المنحنى · ولعل أبرز ما يميز نتيجة هوكينج هو أنه عندما يكون النجم مهيئا للتحول الى ثقب أسود يتحول أيضا الاشعاع المنبعث الى تيار متدفــق منتظم من الطاقة مســتقل تماما عن تفاصيل عملية الانقباض · وبدلا من أية اجابة بالغة التعقيد ، نجح هوكينج بذلك فى التوصل الى أبســط وأذكى نتيجة · وهذا يعنى أن الاشــعاع المنبعث من نموذج شفارز شيلد للثقب الأسود يتسم على وجه التحديد بمجال التردد السليم الذى يتلاءم مع جسم فى حالة توازن حرارى ، وبدرجة حرارة لا ترتهن الا بكتلته · وتعد هذه هى الحلقة المفقودة فى الصلة بين الثقب الأسود والديناميكا الحرارية ·

ومن النتائج المترتبة على هذا الوضع الجديد أن القوانين الحاكمة في حالة الثقوب السوداء ستصبح ببساطة هي قوانين الديناميكا الحرارية العادية • وسيصير الحدث الأفق هو انتروبيا الثقب الأسود ، وبالتالى يمكن لهذا السطح أن يقل دون أن ينطوى ذلك على انتهاك للقانون الثانى ، شريطة أن تزيد الانتروبيا فى البيئة المحيطة بالثقب الأسود ، بنفس المقدار على الأقل • وتترتب على ذلك نتيجة مهمة مؤداها أن حجم الثقب الأسود يمكن أن يقل • وبالطبع ، سوف ينكمش الثقب الأسود اذا كان أصلا ضئيلا بدرجة كافية • ويعزى ذلك الى العامل العجيب المتمثل فى أن نموذج شفارز شيلد للثقوب السوداء ترتفع حرارته مع انبعاث الطاقة منه • وترتهن درجة الحرارة ، وفقا لحسابات هوكينج ، بمقلوب كتلة الجسم • ومع انبعاث الاشعاع تتناقص الكتلة وتزداد الحرارة مما يزيد من معدل انبعاث الطاقة الاشعاعية • وهذا يعنى أن المنظومة بأسرها تعد فى حالة عدم استقرار انفجارى •

ويمكن القول إذن ان الثقب الأسود ، بعد عمر ملائم ، سيتبخر تماما ، ولن يبقى منه شئ على الاطلاق ! أى أن النجم الذى تحول بشكل مباشر الى ثقب أسود سيتوارى فيما يبدو فى الكون ويتحول الى غلالة من الاشعاعات •

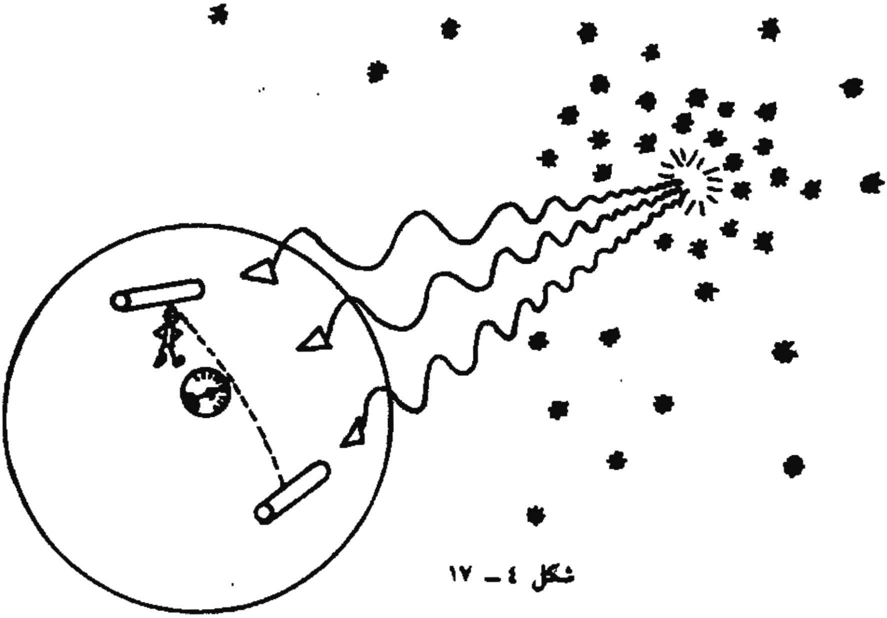
أما فيما يتعلق بالثقوب السوداء التى فى مثل كتلة الشمس فان درجة الحرارة فيها لاتتجاوز ١٠ ‑ ٦ درجة • ولما كانت الاشعاعات فى هذه الحالة تتدفق من المحيط الساخن الى داخل الثقوب السوداء بمعدل أكبر من انبعاث اشعاعات هوكينج خارجها ، فمن شأن مثل هذه الأجسام أن تتضخم بدلا من أن تتبخر • ومع ذلك ، تمثل الثقوب السوداء الميكروسكوبية المذكورة فى ص ١٣٩ الى التبخر فى زمن يقاس بعمر الكون كله • وقد يكون هناك بعض من هذه الثقوب السوداء الضئيلة فى حالة احتضار انفجارى حاليا •

ويجدر أن نتذكر أننا فى هذا الموضوع الغريب والمبهر تتعامل مع الحدود القصوى للنظرية الرياضية الجارية • وتوحى العلاقات القوية مع الديناميكا الحرارية ، التى اكتشفها هوكينج وآخرون ، بأننا بدأنا عصرا سيماط فيه اللثام عن مبادىء جديدة بشأن الجاذبية ونظرية الكم • وتتسم النتائج الجديدة بشأن الكم بأنها **مبشرة للغاية لدرجة تفرض نفسها** • غير أننا بعيدون تماما عن أى نوع من المساعدة المباشرة التى يمكن أن تؤكد مجريات الأمور على النحو المشار اليه آنفا •

ولا يفوتنا قبل أن نترك موضوع الثقوب السوداء ان نحلل بايجاز احتمالات ان يتسنى لنا أن نشاهد واحدا منها • ونبادر بالقول بأنه لو كان هناك ثقب أسود بالغ الثقل في مركز المجرة ، فسوف يكون من شأنه على الارجح ان يلتهم النجوم الواحد بعد الآخر بمعدل منتظم • ويقضى القانون الثانى للديناميكا الحرارية فى الثقوب السوداء بأنه لا مجال للثقب الأسود الا لأن يتزيد فى الحجم ، بمعنى أن المادة المنجرفة الى الداخل لابد وأن تسبب زيادة فى المساحة الاجمالية للحدث الأفق • ومع ذلك تفيد الحسابات بأن جزءا من كتلة المادة الساقطة يمكن أن يتحول الى اشعاعات على هيئة موجات جاذبية • وتماثل موجة الجاذبية بالنسبة لمجال الجاذبية الموجة الكهرومغناطيسية بالنسبة للمجال الكهرومغناطيسى،فكلاهما يتحرك بسرعة الضوء ، ولكن بينما تنتج الموجات الكهرمغناطيسية عن عوامل خلل يتعرض لها مجال الجسيمات المشحونة المتعاجلة ، تنجم موجات الجاذبية عن الأجسام ذات الكتلة (شحنة الجاذبية) •

ولقد شهدت السنوات الأخيرة جهودا كبيرة لبناء تلسكوبات جاذبية بهدف « النظر » الى مصادر موجات الجاذبية • وما أبسط الطريقة التى يتم بها رصد هذه الموجات ، حيث يستخدم التموج الذى تتعرض له البنيات الهندسية الفلكية نتيجة مروق الموجة بجوارها ، فى احداث ذبذبة رنانة فى أسطوانة معدنية • وتتسم الأسطوانات المستخدمة فى المعتاد لهذا الغرض بطول يبلغ بضعة أمتار وبأنها معلقة بطريقة بالغة الدقة لتقليل تعرضها لشتى أنواع الخلل الأرضى مثل الهزات الأرضية • ورغم ذلك تفيد الحسابات النظرية بأن الاحتمالات ضئيلة لأن تكون الموجات الناجمة عن أحداث الثقوب السوداء قوية بدرجة تبعث على ذبذبة أجهزة القياس العادية لدرجة الرنين ، ولذلك عادة ما تستخدم مجموعة من الأجهزة متصلة ببعضها على التوازى لتقوية الرصد •

ويحتل عالم الفيزياء الفلكية الأمريكى جوزيف ويبر Joseph Weber مركز الصدارة فى قائمة من رصدوا موجات الجاذبية • فلقد فجر موجة كبيرة من الاثارة عندما زعم منذ بضعة أعوام أنه رصد مصادر قوية للموجات فى مركز المجرة وساد اعتقاد واسع النطاق بأنها ضرب من الأحداث الجارية فى الثقب الأسود • غير أن احدا لم ينجح منذ ذلك الحين فى أوروبا وأمريكا فى أن يؤكد هذه النتائج ، ويبدو أنه ينبغى علينا انتظار انتاج جيل جديد من أجهزة الرصد يتسم بقدر أكبر من الحساسية والدقة حتى يحسم هذا الجدل •



شكل ٤ ـ ١٧

الشكل ٤ ـ ١٧ : تلسكوبات الجاذبية • من الاحتمالات الواردة أن تكون موجات الجاذبية ناجمة عن القباض لثقب اسود في مركز المجرة ، ويمكن استخدام « موجات الخلل » التي تتعرض لها البنيات الهندسية الفلكية في بث ذبذبة رنانة في القضبان المعدنية • ويستخدم هذا النوع من الاجهزة في المعتاد في محاولة لرصد مثل هذه الموجات ، وهي تستخدم في ثنائيات لتمييز العوامل المحلية مثل الزلزال •

ويتمثل الاحتمال الأرجح فيما يبدو في امكان رصد ثقب أسود قريب في مثل كتلة النجوم • ولا يمكن رؤية مثل هذا الجسم بشكل مباشر لأنه على وجه التحديد أسود اللون • غير أن الثقب الأسود يستمر في التحرك تحت تأثير الجاذبية وثمة فرصة كبيرة أن نصادف واحدا يكون مشتركا مع نجم آخر عادي في منظومة نجمية ثنائية • وتتمثل المنظومة النجمية الثنائية في نجمين يدوران عن قرب حول مركز جاذبية مشترك • ومثل هذه المنظومات الثنائية موجودة بكثرة في مجرتنا • ولو كان واحد من الثنائي ثقبا أسود فسوف يحاول أن يجرف المادة من قرينه • ومن شأن الغاز المنجذب أن يشكل قرصا حول الثقب الأسود مع انجراف المادة المتحركة على هيئة دوامية صـــوب الداخل • ونتيجة لذلك ترتفع درجة حرارة الغاز بشكل بالغ حتى انه بدلا من أن يشع ضوءا مرئيا ، يصدر أشعة سينية •

ولقد أتاح التقدم التكنولوجي في مجال الفضاء انتــاج تلسكوبات لرصـــد الأشعة السينية ، ويمكن تثبيت هذه التلسكوبات في الأقمار الصناعية وارسالها الى خارج الغلاف الجوى للأرض • وقد كشفت الرحلات الأخيرة عن احتمال وجود عدد من الثقوب السوداء في منظومات ثنائية ، ولعل أكثرها احتمالا هو ذلك المرجع وجوده في برج الدجاجة (Gygnus) • وفي سبيل حسم الأمر بالنسبة لوجود الثقب الأسود ، ينبغي أولا التأكد تماما من أن الجسم المشع ليس بمتقزم أبيض أو نجم نتروني • ولا يمكن رؤية الجسم ذاته ، ولكن يمكن رصـــد وجوده عن طريق متابعة حركة قرينه • ويستند المعيار الوحيد المتاح لاقصاء احتمال وجود مثل هذين الجسمين ، الى النماذج النظرية التى تستبعد أن تزيد كتلة أى منهما كثيرا على كتلة الشمس • ويمكن تقدير كتلة جسم ما عن طريق قياس حركة المنظومة الثنائيــة ، شريطة أن تكون كتلة النجم القرين العــادى معروفة • ويمكن تقدير هذه الكتلة عن طريق قياس شدة اضاءة النجم ونوع الضوء المنبعث منه •

غير أن الأمر ليس بهذه البساطة ، فهناك عوامل كثيرة تعقد مثل هذه المسائل التقديرية ، وكل ما يمكن أن يقال حاليا هو أن ثمة احتمالا لوجود ثقب أسود في برج الدجاجة •

٤ ـ ٥ العوالم المارقة للكم

سجل التاريخ في مطلع هذا القرن حدثا جليلا حيث شهدت سنواته الأولى ثورتين عظميين ـ لا واحدة فقط ـ في الفيزياء وبالتالى في الفكر البشرى • فلقد جاءت نظريتــا النسبية وأدخلتــا تعديلات جوهرية على مفاهيمنا بشــأن الخصائص الفيزيائية على النطاق الواســع ، أى تلك المتعلقة بالفضاء والزمان والمادة • وعلى التوازى مع تطور النسبية ، بدأت تتبلور نظــرية أخرى روادهــــا كثيرون ، وفي مقدمتهم ماكس بلانــك (Max Planck) (ألمانى ، ١٨٥٨ ـ ١٩٤٧) ونيلزبور Neils Bohr (دانمركى ، ١٨٨٥ ـ ١٩٦٢)واروين شرودينجر Erwin Schrodinger (نمساوى ، ١٨٨٧ ـ ١٩٦١) وبول ديراك Paul Dirac (بريطانى ، ١٩٠٢ ـ) وماكس بورن Max Born (ألمانى ، ١٨٨٢ ـ ١٩٧٠). وفرنر هيسنبيرج Werner Heisenberg (ألمانى ١٩٠١ ـ ١٩٧٦) • وترسم هذه النظرية صورة جديدة وغريبة لمعالم وخصائص العالم الدقيق ، وهى صورة تعتبر من عدة زوايا بمثابة اعادة بناء للمفاهيم أعمق وأكثر اختلافا عما جاءت به نظرية النسبية • ولقد صارت هذه الرؤية الثورية

الجديدة للكون الدقيق تشكل اليوم فرعا ضخما فى الفيزياء الحديثة يعرف باسم ميكانيكا الكم Quantum Mechanics .

ومما يبعث على الأسف أن نظرية الكم تفوق كثيرا فى صعوبتها وتعقيدها نظرية النسبية ، وهى التى لا يستطيع الكثير من الناس ، بدون الخلفية الرياضية اللازمة ، فهم ما تتسم به من جمال وبراعة · ولا يحتمل نطاق هذا الكتاب الا أن نقدم الخطوط العريضة للسمات الأساسية لنظرية الكم · (ويدرك الكاتب تماما أنه فى محاولة تعميم هذا الموضوع قد لا تعكس بعض التعبيرات والتشبيهات كل مفاهيم علماء الكم ، بشكل دقيق · وينبغى على القارىء أن يكون حريصا فيما يمكن أن يذهب اليه من استنتاجات قد يستوحيها مما يتضمنه هذا الكتاب من وصف ، حيث ان الغرض الأساسى من الوصف هنا هو البيان والمساعدة على الفهم) · ويتمثل جانب من صعوبة فهم نظرية الكم فى عدم وجود التصور الفيزيائى الدقيق المبنى على الأجسام المألوفة والمفاهيم المستمدة من الحياة اليومية · واذا كانت الساعة وآلات قياس الوقت وأجهزة القياس الأخرى والبنية الهندسية وغيرها مما ورد فى شرح نظرية النسبية ، تعد أشياء مرتبطة بشكل جذرى بالحياة اليومية ، فان التركيب الداخلى للذرة لا يحمل وجه شبه حقيقى مع الأشياء المتداولة فى حياتنا · فنحن نقول على سبيل المثال فى وصف البنية الذرية ان « الجسيمات تدور حول النواة » ، ويعطى مثل هذا الوصف الانطباع بأن الفارق الوحيد بين مسلك الذرة وأية منظومة ميكانيكية أخرى على المستوى المحسوس ، مثل كرات البلياردو ، هو فارق فى الحجم ، وهذه صورة زائفة تماما ·

وكان قد تأكد فى مطلع القرن الحالى أن قوانين نيوتن للميكانيكا (وقانون النسبية الخاصة لاينشتين فيما يتعلق بموضوعنا) لا يمكن أن تصف بشكل سليم مسلك المنظومات الميكانيكية الدقيقة مثل الذرات · وصار واضحا أن القوانين الرياضية البسيطة التى تصف بدقة حركة كرات البلياردو لا يمكن أن تنطبق على هذا المجال الدقيق · وكان معروفا من واقع التجارب أن البنية الذرية لها خصائصها الذاتية المميزة من تناظر وانتظام ، ولذلك بدأت المساعى لايجاد نوع جديد من الوصف الرياضى يتماشى مع هذه الحقائق التجريبية · وفى منتصف العشرينات كان هذا الاطار الرياضى قد اكتمل وارتفع الى مستوى نظرية جديدة تماما للمادة تعرف باسم ميكانيكا الكم ·

وكان نجاح النظرية الجديدة مدهشا . فقد وفرت منذ اللحظة الأولى لاستخدامها وصفا كميا دقيقا لما يلي : البنية الذرية وعمليات الاستطارة Scattering Processes ، وتكون الجزيئات والوصلات الكيميائية بين الذرات ، النشاط الاشعاعي والمسلك الداخلي للنواة الذرية ، التفاعل بين الموجات الكهرومغناطيسية مع المادة (مثل حالة التأثير الكهروضوئي) ، العديد من خصائص أنواع الجماد المختلفة والعديد من الظواهر المعملية الأخرى . وبحلول الثلاثينات كان بول ديراك قد نجح في دمج نظرية الكم مع نظرية النسبية الخاصة وانفتح باب جديد كامل في علم الفيزياء .

وقد تضمنت الصفحات الأولى في هذا الباب مثالا تقليديا للأسلوب العلمي في العمل . وقد نجح ديراك من خلال نظريته الرياضية بشأن الجسيمات الدقيقة النسبية في التكهن بأشياء جديدة عديدة . وكان نموذج الذرة(الذي اتخذ شكله النهائي في منتصف الثلاثينات)يقضي بوجود ثلاثة مكونات أو جسيمات « أســاسية » هي البروتون والالكترون والنترون المحايد كهربيا . واستطاع ديراك أن يثبت رياضيا باستخدام نظريته أن الالكترون على سبيل المثال يدور حول النواة بطريقة يستحيل أن نصادفها في الأجسام المرئية العادية . وقد اتضح أن التأثيرات الناجمة عن هذا الدوران ما هي الا واحدة من السمات المعروفة جيدا في المجال الطيفي الذري . وأغرب من ذلك ، فقد اكتشف ديراك أيضا أن القانون الذي وضعه بشأن المادة ، علاوة على أنه ينطوي على حلول تصف بدقة حركة الالكترونات العادية والبروتونات والنترونات ، فانه ينطوي كذلك على حلول « عكسية » تصف فيما يبدو أنواعا جديدة تماما من الجسيمات . ولم تكن هناك أنواع أخرى من الجسيمات معروفة في ذلك الحين . ومع ذلك فقد استخدم ديراك منطقا رائعا اقترح فيه وجود آلية يمكن أن تخلق فيها جسيمات « عكسية » . وبحلول عام ١٩٣٦ كان قد تم اكتشاف أول نوع من هذه الجسيمات ، وكان هو الصورة العكسية للالكترون ـ أي جسيم له نفس الكتلة ولكنه يحمل شحنة كهربية معكوسة . وقد أطلق على الجسيم الجديد اسم بوزيترون (positron) وصار يمثل اثباتا رائعا لميكانيكا الكم النسبية التي وضعها ديراك .

وكان اكتشـــاف البوزيترون مجرد بداية فتحت الطريق لمزيد من الاكتشافات . ففي عام ١٩٣٥ تكهن الفيزيائي الياباني هيديكي يوكاوا (Hideki Yukawa) استنادا الى احدى النظريات المتعلقة بالبنية النووية ، بوجود نوع آخر من الجسيمات له كتلة وسط بين الالكترون والبروتون ويسمى « الميزون » (meson) . وقد افاد أحد الأبحاث بوجود مثل هذا الجسيم ، وعرف باسم « الموون » (muon) وقد تم الاهتداء اليه بالفعل

فى عام ١٩٣٧ • ولم يكتشف الميزون الذى تنبأ بوجوده يوكاوا ، الا بعد الحرب العالمية الثانية ، وهو معروف الآن باسم « البيون » (Pion) وعلاوة على الميزونات ، أوحى النشاط الاشعاعى الباعث لاشعة بيتا بوجود نوع آخر غريب من الجسيمات يسمى « النوترينو » (neutrino) . ويتمثل وجه الغرابة فى أن هذا الجسيم ليس له كتلة أو شحنة كهربية . وانما هو يدور بالأسلوب الغريب الذى وصفته نظرية ديراك • ويتسم التفاعل بين النوترينو والجسيمات الأخرى بأنه محدود للغاية ـ حتى انه من شأن معظم النوترينات أن تخترق الأرض وتعبرها بشكل مستقيم دون توقف •

ولو كان عدد أنواع الجسيمات قد ظل مقصورا على البروتون والنترون والالكترون والبوزيترون والميزون والنوترينو (وثمة نوعان منه) والفوتون (photon) ـ وهو « جسيم » كمى مرتبط بالموجات الكهرومغناطيسية ـ لبقى هناك بعض الأمل فى التوصل الى وصف للبنة الأولى من الجسيمات التى تتكون منها كل أنواع المادة • ولكن شهد تاريخ ما بعد الحرب اكتشاف المئات من الأنواع الجديدة من الجسيمات وبعضها لا يعيش الا للحظة مارقة (١٠ ⁻ ²⁴ ثانية على سبيل المثال) • ورغم أن بعض أوجه التناظر غير المتوقعة قد أضفت قدرا ضئيلا من النظام على فوضى هذه الكيانات الجديدة ، فليس هناك أى تأكيد بما اذا كانت كل هذه الجسيمات مبنية من مكونات أولية مشتركة أم انها غير محدودة فى عددها وأنواعها • ولقد أصبحت عملية البحث عن هذه الجسيمات الجديدة وتصنيفها تشكل صناعة كبرى تستثمر فيها أجهزة تصل قميتها الى ملايين الجنيهات • وصار هذا المجال من الفيزياء النظرية والتجريبية يعرف باسم فيزياء الجسيمات الأولية • ويقوم حجر الأساس فى هذا الفرع من العلم على نظرية الكم النسبى الخاص •

ولكى نفهم كيف تتكون هذه الجسيمات الدقيقة فى هذه السلسلة المذهلة ، ينبغى أن نسترجع أن عملية التحول المتبادل بين الكتلة والطاقة محكومة بقانون آينشتين للنسبية الخاصة وهو (ق = ك ض٢) • ولقد شرحنا فى الباب الثانى كيف أن الجسيم المتعاجل يكتسب كتلة نتيجة لهذا التحول • وثمة طريقة أخرى لتحويل الطاقة الى كتلة وتتمثل فى « تخليق » جسيمات مادية جديدة من الطاقة • ويمكن تغذية هذه العملية بالطاقة بطرق مختلفة • ومن الأساليب الشائعة فى هذا المجال أن يتم تنشيط الجسيمات الموجودة بالفعل ، بدرجة عالية بحيث تصطدم ببعضها بأكبر قوة ممكنة • ولقد صارت هناك أجهزة تعاجل حديثة ـ كذلك الموجود

فى المركز الأوروبى للبحث النووى بجنيف ـ بوسعها أن تنتج بهذه الطريقة أنهارا من الجسيمات المخلقة الجديدة من كافة الأنواع •

وقد اكتشف علماء الجسيمات الأولية من خــلال هذا النوع من التجارب أن كافة أنواع الجسيمات تخضع لقواعد معينة عندما تتحول فيما بينهــا • وتتســم هــذه القواعد بتحديد « بطاقات » خصائص للجسيمات منها على سبيل المثال خاصيتا الشحنة الكهربية والدوران • ولا يقف الأمر بالنسبة للبطاقات عند مجرد حد التمييز بين الجسيمات المختلفة ، فهى تتسم عادة بصفة البقاء عندما تتغير الجسيمات سواء فى اعدادها أو أنواعها • فهناك على سبيل المثال بطاقة تسمى « رقم باريون » (Baryon number) يحملها النترون،ومن شأن هذه البطاقة أن تنتقل الى البروتون لو تحلل النترون الى بروتون والكترون ونوترينو • وفى المقابل ، فليس لدى الميزون رقم باريون وبالتــالى ليس من الوارد أن تتحــول النترونات أو البروتونات الى ميزونات ، ولم يحدث أن رصد أحد مثــل هذا التحول • علاوة على ذلك ، فعندما يخلق جسيم من الطاقة ، تقتضى مسألة بقاء بطاقاته أن يخلق فى نفس الوقت جسيم آخر يحمل عددا مساويا من البطاقات المعكوسة • وهذا يعنى أن الجسيمات تنتج فى ثنائيــات • فلا يمكن على ســبيل المثال تخليق بوزيترون الا اذا تم فى الوقت ذاته تخليق الكترون قرين له (يتسم بشحنة كهربية واتجاه دوران عكسيين) •

ويقتضى هذا الشرط ، شرط التنــاظر فى البطاقات أثنــاء عملية التخليق (أو التدمير) ، أن يكون لكل جسيم مثيل « عكسى » له بطاقات مماثلة فى العدد ومعكوسة فى الخصائص• ولا يقتصر ذلك على الالكترون، فلابد أن يكون لكل من البروتون والنترون والميزون ••• الخ الجسيم المضاد المناسب (antiparticle) • فلا يمكن على سبيل المثال تكوين البروتون الا اذا كان بمصاحبة بروتون مضاد ، له شحنة كهربية سالبة ورقــم بــاريون • ويمــكن من ناحية أخرى الجمع بين بروتون مضــاد وبوزيترون لتكوين ذرة هيدروجين مضادة • وتسمى المادة المكونة بهذه الطريقــة العكسية « المادة المضــادة » (antimatter) • وعندما تلتقى المادة والمادة المضادة فانهما تتلاشيان على التو وتتحولان مرة أخرى الى طاقة على هيئة فوتونات أشعة جاما على سبيل المثال • وبالتالى ليس من شأن جسيمات المادة المضادة أن تبقى طويلا فى البيئة الأرضية المشبعة بالمادة ، أو فى مجرتنا التى يبدو أنها مكونة كلها تقريبا من المادة • وليس معروفا ما اذا كان الكون كله مكونا من المادة أم أن هناك بعض المجرات المكونة من المادة المضادة •

والآن ، وبعد أن وصفنا بايجاز شديد بعض النتائج التجريبية المترتبة على نظرية ميكانيكا الكم ، يجدر بنا أن نتحدث قليلا عما تتسم به النظرية ذاتها من طبيعة فريدة ·

ولقد اتسمت الميكانيكا التقليدية التى وضعها نيوتن بأنها تقوم على خاصية أساسية هى امكانية التنبؤ · وقد وضع نيوتن مجموعة من المعادلات الرياضية لوصف التطور الزمنى بالنسبة للمنظومات الميكانيكية · فلو حدث من حيث المبدأ أن توافرت المعلومات الكافية بشأن حالة منظومة، عند زمن معين ، يمكن حساب كل تاريخها الماضى والمستقبل بدقة كبيرة · وتمثل عملية التنبؤ بحالات خسوف الشمس مثلا جيدا لذلك · وتعد المنظومة المكونة من الأرض والشمس والقمر مسألة مباشرة يمكن حلها بدرجة تقريب جيدة باستخدام الميكانيكا النيوتونية لأن مجالات الجاذبية هنا ضعيفة والسرعات محدودة · وتتيح معرفة الحالة الراهنة لمنظومة الشمس حساب تواريخ كل حالات الخسوف الماضية والمستقبلة ·

العالم اذن يعد ، وفقا للميكانيكا النيوتونية ، بمثابة ماكينة منتظمة، وما يجرى فيه من أحداث غير متوقعة انما هى بسبب عدم توافر المعلومات التى تكفل سبق الأحداث والتنبؤ بها تفصيليا ·

وعند منعطف القرن الحالى بدأ يشوب الميكانيكا النيوتونية بعض القصور ، حيث لم يكن من شأنها أن تصف بشكل سليم بعض الخصائص الأساسية للذرات وتفاعلاتها مع الاشعاع الكهرومغناطيسى · وقد أفسحت أوجه القصور هذه المجال لتولد المفاهيم الجديدة المتعلقة بميكانيكا الكم · وتبدأ ميكانيكا الكم باستبعاد احتمال وجود امكانية كاملة للتنبؤ فى العالم أيا كان حجم المعلومات المتاحة · فبدلا من أن نعتبر أن الحالة الراهنة للكون تتطور بالضرورة صوب حالة مستقبلة محددة تماما (وتنحدر من حالة سابقة محددة تماما) تطرح ميكانيكا الكم عدة احتمالات لحالات الكون فى الماضى والمستقبل· وينبغى أن تنظر الى الحالة المستقبلية لأية منظومة طبيعية على أنها حالة مركبة من كافة الاحتمالات الممكنة · وبدلا من أن يكون هناك عالم مستقبلى واحد ، ثمة عدد هائل من الحالات المحتملة ، وكل من هذه الحالات يمكن أن يحدث أو لا يحدث وفقا لاحتمال محسوب محدد ·

ومن ثم صار التنبؤ فى الفيزياء ، شأنها فى ذلك شأن الاقتصاد ، مسألة تتصل بعلم الاحصاء · وهناك آراء فلسفية كثيرة متباينة تختلف حول ما اذا كانت كل العوالم المحتملة موجودة على التوازى أم أن هذه العوالم تتتابع الواحد تلو الآخر بشكل عشوائى · وفى أى من الحالتين

يمكن للفيزيائى أن يحسب نسبة توقع شكل معين للمنظومة عند أية لحظة ، باستخدام قوانين الاحتمالات • ويمكن على سبيل المثال أن نحسب بشكل مباشر الاحتمالات النسبية لأن تكون نواة يورانيوم قد تحللت أم لا نتيجة انبعاث جسيم ألفا منها • فبعد مدة تقدر على سبيل المثال بألف عام سنجد أن هناك عالمين محتملين : عالم يظل فيه اليورانيوم سليما والآخر يتحلل فيه اليورانيوم • وتوفر نظرية ميكانيكا الكم أسلوبا رياضيا لحساب احتمالات حدوث كل من البديلين •

ولو درسنا المكان ـ الزمان على المستوى الدقيق ، فسنجد أن عددا كبيرا من العوالم المختلفة من شأنه أن يظهر ويختفي مرة أخرى ، مثل صور الأشباح • ولما كان ظهور هذه العوالم لا يتم الا بشكل مارق ، فحتى لو بدأنا من فراغ تام ــ مجرد عدم ــ فسنجد أنه فى غضون فترة ضئيلة من الزمن ستنبعث جسيمات من كافة الأنواع ثم تخبو وتتلاشى • وتتسم مدة بقاء هذه الجسيمات الشبحية بأنها قصيرة بدرجة مذهلة ، فالبروتون الشبحي على سبيل المثال لايعيش الا لمدة ١٠⁻ ²⁴ ثانية • وعلى أية حال ، لم يعد من الوارد أن نفكر فى الفراغ كشىء خال تماما ، بل على العكس فانه يموج بآلاف الأنواع المختلفة من الجسيمات التى تتكون وتتفاعل وتختفى فى بحر من النشاط لا يعرف الهدوء • وهذه هى الصورة التى ترسمها نظرية الكم للمكان ـ الزمان، صورة تعج بالتفاعلات والاضطرابات العنيفة •

وليست هذه الصورة الكمية مجرد نموذج نظرى ، فهناك شواهد طبيعية حقيقية تحدث نتيجة هذا الفراغ المتقلب • فمن شأن وجود المواد الموصلة للكهرباء فى المكان ـ الزمان على سبيل المثال أن يغير من شكل ذبذبة الفوتونات (وهى « جسيمات » الاشعاع الكهرومغناطيسى) بطريقة تؤدى الى تولد قوى فى الموصلات تصل الى حد أنه يمكن قياسها •

ويأتى هذا المفهوم الكمى الجديد المثير للمكان ـ الزمان كنتيجة لدمج ميكانيكا الكم مع النسبية الخاصة • ومن المتوقع أن يسفر التضافر بين نظرية الكم والنسبية العامة عن تعديلات مذهلة أخرى فى صورة المكان ـ الزمان •

ولقد بذل العلماء جهودا كثيرة خلال السنوات الأخيرة سعيا الى فهم طبيعة الجسيمات الأولية فى المكان ـ الزمان المنحنى وفقا لنظرية النسبية العامة • ولم يكن من شأن التقدم البسيط الذى أحرزه العلماء فى هذا المجال الا انه أكد كم أن الفكرة السائدة بشأن هذه الجسيمات متأصلة

بشدة فى المكان ـ الزمان فى اطار النسبية الخاصة • ومع ذلك تفيد بعض الدراسات الحديثة فى الاتحاد السوفيتى والولايات المتحدة بأن عملية تخليق جسيمات أولية فى مجالات جاذبية شديدة قد تكتسى اهمية بالنسبة لخصائص الكون على النطاق الكبير • أما فى نطاق الثقوب السوداء فيتكهن البعض بأن مثل هذا التخليق للجسيمات قد يؤدى الى تبخرها تماما ، على نحو ما ذكرنا فى القسم السابق •

ولو رجعنا الى مستوى أساسى أعم ، فسنجد أنه يمكن تطبيق نظرية ميكانيكا الكم على مجال الجاذبية ذاته ، أى يمكن اضفاء صبغة الكم على المكان ـ الزمان • ويشكل هذا الموضوع منذ بضع سنوات مجالا واسعا ومثيرا يموج بالنشاط البحثى، غير أن مسألتى التقنية الرياضية والمبادىء الحاكمة تكتسيان درجة فائقة من التعقيد والصعوبة • ولما كانت الجاذبية تتجلى فى صورة بنية هندسية للمكان ـ الزمان ، تقتضى نظرية الكم للجاذبية التاليف بين عوالم ذات بنيات هندسية مختلفة • وينبغى أن يتم حساب البنية الهندسية المشهودة ؛ وفقا لنظرية الاحتمالات الاحصائية كالمعتاد • ويتسم الفراغ ، كما سبق أن افترضنا ، بأنه يموج بالذبذبة ، ولكن فى هذه الحالة فان البنية الهندسية هى التى تتذبذب • فعلى الصعيد الميكروسكوبى الدقيق سنجد العوالم الطيفية ، بما تتسم به من بنيات منحنية ومعوجة بدرجة عجيبة ، تظهر وتختفى ، تتكون وتتلاشى فى نشاط دائب • وتفيد بعض التقديرات بأن ذبذبة المكان ـ الزمان على النطاق الدقيق الفائق الذى لا يتجاوز ١٠ـ٣٣ سم (وهو ما يقل عن النواة الذرية بنسبة ١ الى ١٠٠ بليون بليون) ، من شأنها أن تكون كبيرة بدرجة قد تسفر عن حدوث تغيرات طبوغرافية • وهذا يعنى أنه من الوارد أن تنشأ فى المكان عوالم شبحية تمتلىء « بالثقوب الدودية » و « الجسور » و « الأنفاق » ، تتكون ولا تلبث أن تنقبض بما يضفى على المكان ـ الزمان على هذا النطاق خصائص تبدو بها كنوع من الرغاوى أو الزبد • وفى مثل هذه المنطقة الغريبة من الزبد والعوالم الشبحية تتقوض كافة التوقعات والتكهنات بشأن الانقباض الناجم عن الجاذبية والفذاذات • أى أن الصورة الكمية يمكن أن تقودنا الى أى شىء • وبما انه ليست هناك نظرية ملائمة تحكم المسألة ، فليس ثمة اتفاق بشأن مدى الجدية التى يمكن أن تؤخذ بها هذه الصورة • وكل ما يمكن أن يقال فى هذه المرحلة انه لا يكن على الأرجح أن ينسحب مفهوم المكان ـ الزمان المتواصل ، على هذه المناطق متناهية الضآلة •



شكل ٤ ـ ١٨

الشكل ٤ ـ ١٨ : انهيار المكان ـ الزمان · يقول جون ويلر ان تأثيرات الكم على النطاق الميكروسكوبى الدقيق ، يتسم بدرجة من العنف حتى انها تبدأ فى تمزيق المكان ـ الزمان كليا ، بما يحوله الى بنية اسفنجية مليئة بالثقوب الدودية والجسور والأنفاق · ومن شأن هذا النشاط العنيف أن يجرى بشكل غير ملحوظ تماما بالنسبة للجسيمات دون الذرية : فهذه الجسيمات تبدو فى حجمها بالنسبة لهذه العوالم كحجم الشمس بالنسبة للذرة !

ويعد الفيزيائى الأمريكى جون ويلر John A. Wheeler من العلماء البارزين فى هذا المجال الذى أطلق عليه اسم « ديناميكا الكم الهندسية »· ويشير ويلر الى أن طاقة كل هذه الذبذبات وهذا النشاط العنيف تصل فى ضخامتها الى حد أن وجود جسيم حقيقى فى هذا المكان يعد بمثابة سحابة بالنسبة لديناميكا الهواء · وتبعث هذه الفكرة عن المكان ـ الزمان والمادة على أن نرى عالما بعيدا تماما عن عالم لايبنتيز وماخ ، اللذين حاولا بناء المكان والزمان من المادة ، فان نظرية الكم الحديثة تسند الى مكانة الزمان ذاته الدور الرئيسى ، أما المادة ، فما هى الا مجرد عامل خلل فى البنية الأساسية · وانه لضرب من العته أن نتصور أن القصة تنتهى عند هذا الحد · فلا شك أنه سيأتى الوقت الذى ستظهر فيه نظرية جديدة تجمع بين المكان ـ الزمان ونظرية الكم بشكل أكثر عمقا وسيظهر مفهوم جديد تماما بشأن المكان ـ الزمان · أما فى الوقت الراهن ، فينبغى على القارىء أن يكتفى بأن يعتبر نظريتى النسبية والكم مجرد نظرة خاطفة على اثنين من الجوانب المثيرة العديدة للواقع الحقيقى ·

٤ ـ ٦ الوضع الحالى للنظرية العامة

ولما كانت معظم المناقشـــة فى هذا الباب قد انصبت على نظرية النسبية العامة ، فمن المناسب أن ننهيه ببعض الكلمات عن وضعها الحالى كنظرية علمية • فلقد حظت هذه النظرية طويلا بقبول عام من جانب علماء الفيزياء بوصفها أفضل وصف متاح للمكان ـ الزمان والجاذبية • وينبع هذا القبول فى جانب كبير منه ، من الجمال الحقيقى والبراعة والأناقة التى تتسم بها النظرية فى وصف الطبيعة • ولكن يبعث على الأسف أن هذه الأناقة لا تنسحب على معظم تطبيقات النظرية حيث ان المشـكلات التقنية والطبيعة الرياضية المعقدة تجعل حتى أبسـط المنظومات تبدو مسائل مستعصية تماما على الحل • ويرجع جانب من الصعوبة الى أن الجاذبية تعتبر نوعا من الطاقة ، وتعد بذلك هى مصدر ذاتها• ولو تحدثنا بلغة الرياضيات ، فان ذلك يتجلى فى عدم خطية المعادلات المستمدة من النظرية ، ونعنى بذلك أن مجموع تأثيرات الجاذبية لا يماثل تأثير مجموع الجاذبية • فلا يستطيع المرء أن يجمع ببساطة الحلول المعروفة للمنظومات البسيطة ليحصل على الحل الجلى لمنظومة معقدة • ونتيجة لهذه المشكلات التقنية فان المحتوى الحقيقى لهذه النظرية مازال فى طور الاكتشاف ، حتى بعد أكثر من ٦٠ عاما •

وعلى الصعيد العملى فان الاثباتات التجريبية للنظرية ضعيفة للغاية ولا تضاهى مطلقا ما تحقق بالنسبة للنظرية الخاصة • فالى جانب التأثير على مســـار كوكب عطارد والزحزحة الحمراء للضوء ، أجريت تجارب لقياس اعوجاج أشعة الضوء نتيجة الانحناء حول الشمس ، وهناك قدر معقول من التوافق ، رغم أن التجربة تشتمل على عوامل اضافية معقدة • وثمة عدد كبير من النظريـات البديلة بشأن الجاذبية ، غير أن المعطيات التجريبية تبعث بصفة عامة على اســتبعاد كل هذه النظريـات البديـلة تقريبا ، وعلاوة على أنها هزيلة ، ليس منها ما يقارب نظرية آينشتين من الناحية الجمالية •

أما فى مجال الكم فهناك بعض البراهين البارزة التى تتماشى مع النســبية العـامة مثل الحد غير الكمى الصحيح • وان مجرد التفكير فى المبادىء الاولية لنظرية الكم فى المجالات ، ليقود بشكل شبه مطلق ومنفرد الى مبدأ التكافؤ ، والى خصائص التحول فى البنية الهندسية والى عدم خطية الجاذبية • غير أن استمرار الفشل فى ايجاد صورة سليمة للتزاوج

بين نظرية الكم والنسبية العامة قد أدى الى تراكم الآراء التى تقول بأن نظرية اينشتين تتسم بالخطأ عند التطبيق فى مجال الكم . وليس من الواضح حتى الآن ما اذا كان سيطرأ تعديل على النظرية الحالية بما يؤدى الى انجاح تزاوجها مع نظرية الكم أم ستظهر بنيات جديدة لمراحل تسبق الكم وتسبق المكان ـ الزمان .

الباب الخامس

علم الكونيات الحديث

٥ ـ ١ هندســـة الـــكون

ولا يكتمل تحليل المكان والزمان بدون دراستهما في شموليتهما ـ ويعد الكون هو الهيئة الشاملة للمكان ، وتاريخه هو الصورة الشاملة للزمان · فماذا يمكن أن يقال بشأن بنية الكون وحياته ، وعن مولده وفنـــائه ؟

ويبعث على الدهشة في بعض الأحيان الا يكون من شأن العلم أن يسهم بأى شكل في موضوعات مثل نشأة كل شيء ونهايته · وعادة ما تعتبر هذه الأمور من اختصاص الدين أو الفلسفة ، وكان هذا بالفعل هو مكانها على مدى تاريخ البشرية · وكثيرا ما يوجه سؤال الى العلماء هو : هل أنتم « مؤمنون » بهذه الموضوعات ؟ ولا ينطوى مثل هذا السؤال على تقدير لما أحرز على مدى السنوات الأخيرة من تقدم هائل في فهم طبيعة الكون وتطوره بشكل شامل · ولم يعد العلماء بحاجة لأن يكون لديهم ايمان بشأن مسائل مثل متى نشأ الكون وبأية صورة (وقد تكون لديهم معتقدات دينية) ، فلقد صار الأمر الآن يتجســـد في استخدام الأجهزة العلمية « لرؤية » الصورة التى يبدو عليها الكون وكيفية تطوره · ولم تعد مثل هذه الموضوعات الفلسفية الكبرى تناقش بصفتها من أركان الايمان ولكن بصفتها وقائع تحكمها نظريات مثلما يحدث في أى فرع آخر من فروع العلم · صحيح أن كثيرا من المفاهيم الحالية للأمور الكونية تتسم بأنها بدائية وتقبل الصواب أو الخطا ، ولكن بالتأكيد سيشهد المستقبل ثورة كبيرة في الصورة المقبولة حاليا للكون · وعلى أية حال ، يجدر أن نشير الى أننا نتحدث هنا عن العلم والقيم العلمية ، ولو كان من شأن آراء رجال الدين أو الفلاسفة أن تعزز بعض المفاهيم الفردية الخاصة بشأن الكون ، فان المواضيع التى نتحدث عنها في هذا الكتاب تقوم بشكل بحت على المعلومات المستقاة من المشاهدات الفعلية وعلى الجدل الذى يندلع بشأن تفسيراتها النظرية ·

وقد يكون من الملائم أن نبدأ بوصف عام لبنية الكون على نحو ما هو مفهوم حاليا . وربما كان أبرز سمات الكون وأكثرها وضـوحا هو الفراغ ، فالكون كله تقريبا عبارة عن فضـاء فراغ . ولا شـك أن هذه المقولة ليست صحيحة بشكل مطلق .. فبغض النظر عن اعتبارات الكم التي تطرقنا اليها في نهاية الباب السابق ، لا يخلو الأمر مطلقا من قدر ما من الاشعاعات والذرات الشـاردة المتخلفة من العمليات الكونية . ولكن سعيا الى تيسير الأمر سنفترض أن المحتويات المادية في الكون تفصل بينها مساحات سحيقة من الفضاء .

وتتواجد معظم المادة الضوئية على هيئة نجوم . وتشـبه النجوم شمسنا ، رغم أن أحجامها وألوانها وتركيباتها وتطوراتها قد تختلف اختـلافا كبيرا . وتتجمع النجوم ، علاوة على بعض الغبار والغـازات (وأجسام أخرى) ، على هيئة مجموعات عملاقة تسمى المجرات . وتحتوى مجرة نمطية مثل مجرتنا على نحو مائة بليون نجم (أى نفس عدد الخلايا فى المخ البشرى) وتصل المسافة بين أطرافها الى زهاء ٥٠ الف سنة ضوئية .

واذا كانت المجرة تعد ضخمة بشكل مذهل وفقا للمقاييس البشرية ، فهى تعد شيئا لا يذكر فى ضآلتها بالمقياس الكونى . وتنتشر المجرات فى الكون بشـكل ما بطريقة عشـوائية ، فيما عدا أنها عادة ما تتجمع فى مجموعات صغيرة . وتشكل هذه المجموعات من المجرات « ذرات » الكون . وأى قول بشأن الكون سيكون على هذا المقياس على الأقل ، وأيا كانت هائلة أنشطة المجرات الفردية ، فنادرا ما يكون لها وقع يذكر على المستوى الـكونى .

وقد يساعد القارىء فى تصور هذه الضخامة المذهلة أن يربط بين هذا البيان الكونى وبين ما يراه فى السماء ليلا . فبغض النظر عن الشمس والقمر تعد الكواكب القريبة هى أسطع أجسام مستديمة فى السماء ، وهى تنتمى الى مجموعة مكونة من تسعة عوالم ، من بينها الأرض ، تدور حول الشمس (التى يصل نصف قطرها الى ٧٠٠ الف كم - اى تزيد فى حجمها على مائة مثل الأرض) على مسافات تصل الى بضعة بلايين من الكيلو مترات . وتسمى هذه المجموعة من الكواكب ، علاوة على الشمس ، بالمجموعة الشمسية . ورغم أن الكواكب تشبه النجوم فى شكلها فانها تقل عنها بشكل فائق من حيث الضخامة وشدة الاضاءة . ولولا أن هذه الكواكب تعكس ضوء الشمس ، ولولا أنها قريبة من الأرض بدرجة تجعل هذا الانعكاس يبدو ساطعا ، لما رأيناها . ومع ذلك ، فحتى لو تقل أضخم

تلسكوب الى أقرب نجم فلن يكون من شأنه أن يرصد هذا القرين الضعيف للشمس ٠

وفى المقابل تعتبر النجوم ذاتها شموسا ضخمة متوهجة ، تقع على درجة من البعد بالمقارنة مع الكواكب بحيث انه ، رغم انها تسطع ببريق يفوق بملايين المرات ضوء الكواكب ، فهى تبدو أضعف منها ٠ ومن المرجح أن تكون لمعظم النجوم الأخرى مجموعاتها من الكواكب المماثلة لمجموعتنا الشمسية ٠ وقد تحدثنا قليلا فى الباب الرابع عن بنية النجوم وتطورها ٠

وما النجوم المرئية بشكل فردى فى ليل السماء الا مجرد الأعضاء القريبين فى مجرتنا ٠ ولا تظهر معظم المجرة فى أعيننا على الأرض الا على هيئة شريحة من الضباب المضىء تتوسط السماء بشكل عرضى ، وتعرف باسم درب التبانة **Milky Way** ٠ ولو استخدمنا تلسكوبات متوسطة القدرة فسوف يظهر درب التبانة على هيئة أعداد لا تحصى ولا تعد من النجوم المستقلة ٠ ويقع مركز المجرة فى اتجاه برج القوس **Sagittarius** (ولكن الى أبعد منه كثيرا) ٠

أما المجرات الأخرى ، فلا يمكن مطلقا رؤيتها بالعين المجردة ، وان كان من الوارد أن نرصد حفنة ضئيلة منها لو استخدمنا نظارات ميدان قوية٠ورغم ما تتسم به مجرة اندروميدا **Andromeda** من ضخامة وقرب من الأرض (حيث لا تبعد الا بمقدار مليون ونصف المليون من السنوات الضوئية) ، فهى لا تبدو فى عينى شخص حاد البصر الا على هيئة بقعة هزيلة فى برج أندروميدا ٠ وبوسع التلسكوبات الحديثة أن ترصد مئات الملايين من المجرات الأخرى ٠ وتتباين أشكال المجرات فيما بينها بشكل كبير ، ولكن من الأشكال المميزة الجميلة ذلك الذى يتجسد فى هيئة قرص رقيق نسبيا يتوسطه جزء منتفخ وتخرج منه أذرع حلزونية كعجلة النار ٠ وتنتمى مجرة أندروميدا ومجرتنا لهذا النوع الحلزونى ٠ وتقع المجموعة الشمسية فى مجرتنا فى واحد من هذه الاذرع الحلزونية على نحو ثلثى المسافة من مركز المجرة ٠

وينبغى علينا أن نتذكر دائما أننا عندما ننظر الى الكون لانرى المجرات على هيئتها الحالية ولكن على الهيئة التى كانت عليها فى الماضى البعيد ٠ ويعزى ذلك الى أن الضوء المنبعث منها يقطع ملايين الملايين من الكيلو مترات ليصل الينا ، وقد تستغرق هذه الرحلة ملايين السنين ، فالضوء الصادر من مجرة أندروميدا « القريبة » يصل الينا بعد مرور مليون ونصف المليون

من السنين · وترصد التلسكوبات الضخمة مجرات يبلغ من بعدها أنها تبدو على الهيئة التى كانت عليها قبل بلايين السنين !

ورغم أن قدرة التلسكوبات الضخمة لا تسمح الا برصد المجرات ، فهناك بلا شك بعض الأجسام فى هذه المساحات السوداء الشاسعة التى تفصل بينها ، ولكن كم هو عددها وما هى طبيعتها ، فتلك مسائل مازالت فى حيز التكهنات · علاوة على ذلك ، يتخلل الكون أنواع عديدة من الاشعاعات والجسيمات ، من بينها الاشعاعات الكهرومغناطيسية واشعاعات الجاذبية والنيوترينات والأشعة الكونية (المؤلفة من مجموعة من الأنواع المختلفة من الجسيمات دون الذرية) ·

ويجدر بنا ، بعد أن ذكرنا الخطوط العريضة لتوزيع المادة فى الكون ، أن نتحدث قليلا عما تتكون منه المادة · وتتألف المادة كلها من ذرات · وتشتمل الأرض على زهاء ٩٠ نوعا طبيعيا من الذرات ، علاوة على بعض الأنواع الجديدة المخلقة اصطناعيا · وتسمى المادة المكونة كلها من نوع واحد من الذرات « عنصرا » ومن شأن ذرات معظم العناصر أن تتحد جميعها مع ذرات أخرى من العناصر ذاتها أو عناصر مختلفة لتكون الجزيئات · وتدخل القواعد الدقيقة التى تحكم مثل هذا الاتحاد ، فى نطاق علم الكيمياء · وتتكون المادة كلها بشتى صورها ، من الماس الى الهواء ومن الانسان الى النجوم ، من أنواع مختلفة من التآلفات بين هذه العناصر الأساسية نفسها · ويعد الهيدروجين أبسط عنصر فى الكون ، وتتكون ذراته من مجرد جسيمين هما الالكترون والبروتون · ويلى الهيدروجين من حيث بساطة التركيب الهليوم ، وهو يتكون من ستة جسيمات موزعة كالتالى : بروتونان ونترونان متحدة مع بعضها وتكون النواة ، والكترونان يدوران حول النواة تحت تأثير الجاذبية الكهربية · أما أعقد العناصر الطبيعية الشائعة فهو اليورانيوم ، وهو يحتوى على ٩٢ بروتونا ونحو ١٤٠ نترونا فى النواة فضلا عن ٩٢ الكترونا فى حالة دوران حولها ·

وتعزى أوجه الاختلاف الرئيسية بين الذرات الى تباين عدد البروتونات فى النوايات · ولقد صارت كل أنواع الذرات ـ من الذرة التى تشتمل على بروتون واحد الى تلك التى تحتوى على ٩٢ بروتونا ـ معروفة لدينا ، غير أن بعضها ، مثل الحديد ، يعد شائعا بدرجة كبيرة بينما يتسم البعض الآخر ، مثل التكنيتيوم ، بالندرة الشديدة · أما العناصر التى تحتوى على أكثر من ٩٢ بروتونا ، والتى تم تخليقها اصطناعيا

(مثل النبتونيوم والبلوتونيوم) ، فهى عناصر مستقرة (مشعة) وتتحلل بسهولة ، ولذلك لا نجدها تتكون بشكل طبيعى على الأرض ·

وتفيد الدراسات الطيفية للأجسام الفلكية باحتوائها على هذه العناصر ذاتها · ولقد عرف بوجود الهليوم فى الشمس قبل اكتشافه فى الأرض · غير أن نسب شيوع العناصر فى الأرض تختلف تماما عنها فى الكون · وتشير التقديرات الى أن ٩٠٪ تقريبا من الذرات الموجودة فى الكون هى ذرات هيدروجين · ويشغل الهليوم معظم الجزء المتبقى · أما الذرات الثقيلة ، واسعة الانتشار فى الأرض ، فهى لا تشكل سوى نسبة محدودة للغاية من اجمالى العناصر · ويتضح من ذلك أنه كان هناك عامل انتقاء قوى وفعال عند تكون الأرض ·

ويعد التناقص السريع فى درجة شيوع العناصر مع زيادة وزن الجسم الفلكى مؤشرا قويا على أن الكون بدأ بدون ذرات معقدة ، وانه كانت هناك « آلية تجميع » تعمل على بناء العناصر المعقدة من العناصر الأخف والأبسط ، مثل الهيدروجين · أما عن أين يقع مصنع بناء العناصر هذا ، فتلك مسألة سنتناولها فى حينها ، فلقد اتضح أنها على أكبر درجة من الصلة مع عدم التناظر الزمنى فى الكون · وفيما يتعلق بالسؤال القائل : من أين جاء الهيدروجين فى الأصل ؟ فهذا موضوع ما زال قيد البحث وسنتناوله بالتفصيل فى القسم ٦ ـ ١ ·

ولا شك أن أهم سمة يتصف بها الكون هى تلك الدرجة البالغة من الانتظام · ويتجلى ذلك من زاويتين متباينتين · وتتمثل الزاوية الأولى فى أن البنيات التفصيلية للنجوم والمجرات البعيدة ، وقوانين الفيزياء التى تخضع لها ، والكميات الناشئة من الطبيعة (مثل الشحنة الكهربية التى يحملها الالكترون) ، تبدو كلها ، وبدرجة دقة كبيرة ، تماثل تلك التى نلمسها فى الجوار القريب لنا من الكون ، وفى الأرض بالطبع · ومن شأن مجرة نمطية تقع على بعد مئات الملايين من السنين الضوئية من الأرض أن تبدو على درجة كبيرة من التماثل مع مجرتنا · ويماثل التحليل الطيفى لذرات مثل هذه المجرة ، وبالتالى الكيمياء والفيزياء الذرية فيها ، الحالة الكائنة على الأرض · ويكفل هذا العامل وحده منح ثقة كبيرة فى تطبيق قوانين الفيزياء المكتشفة فى المعمل ، على المستوى الرحب فى الكون ·

أما السمة الثانية للانتظام الكونى فهى تتعلق بتوزيع المادة · ويتبين من الوصف الذى أوردناه توا للكون أن هذا التوزيع يتسم بنزعة كبيرة الى التجميع · فالمادة تتركب فى هيئة النجوم ، والنجوم تتجمع فى شكل مجموعات تصل الى حجم المجرات · والمجرات أيضا تتآلف فى صورة

جزر مجرية • ويعتقد بعض علماء الفلك أن هذه التجمعات تتصاعد بشكل لا نهائي ، وكلما علا مستوى التجمع ازدادت رقعة الفضاء التى تفصل بين هذه التجمعات غير أن بعض الشواهد التى تتماشى بدرجة مقبولة مع المنطق ، تبعث على الاعتقاد بصفة عامة بأن عملية التجمع تتوقف عند حد الجزر المجرية ، أما التوزيع على النطاق الأوسع فى الكون فيتسم بأنه بالغ العشوائية • ويتصف التوزيع حتى مستوى الجزر المجرية بأنه متجانس (أى متماثل فى كافة المناطق) ومتناظر (أى متماثل فى كافة الاتجاهات) • وكون البنية الكونية على النطاق الواسع تتسم بهذه الدرجة من البساطة ، لا يشكل مظهرا جماليا فحسب ، ولكنه يتلاءم بدرجة قصوى مع الجانب النظرى ، حيث انه يتيح بناء النماذج الرياضية للكون بأقل قدر ممكن من التعقيد التقنى • علاوة على ذلك ، فهذه البنية تتفق مع الفلسفة الحديثة ، التى ظهرت بعد عهد كوبرنيكوس ، والتى تفيد بأنه ليس للأرض أى وضع مميز فى الكون • وكان الاوربيون قبل عهد كوبرنيكوس يعتقدون أن الأرض تقع فى مركز الكون ، وأن كل الأجسام السماوية تدور حولها • وقد أسدل اكتشاف كوبرنيكوس أن الأرض تدور حول الشمس ، الستار الى الأبد على هذا الوهم • وقد خفت فى الآونة الأخيرة حدة من يصفون بالدعة والردة الافتراض القائل بان منطقتنا ما هى الا منطقة نمطية عادية فى الكون • ولم تعد الظروف الطبيعية فى المحيط المجاور لنا تكتسى أية خصوصية ، بل أصبحت نمطا لأى مكان عادى فى الكون • وقد تبدو أرضنا وشمسنا ومجرتنا على درجة قصوى من الاهمية بالنسبة للبشر ، ولكن على الصعيد الكونى الشامل فهى لا تمثل شيئا يذكر بالمرة •

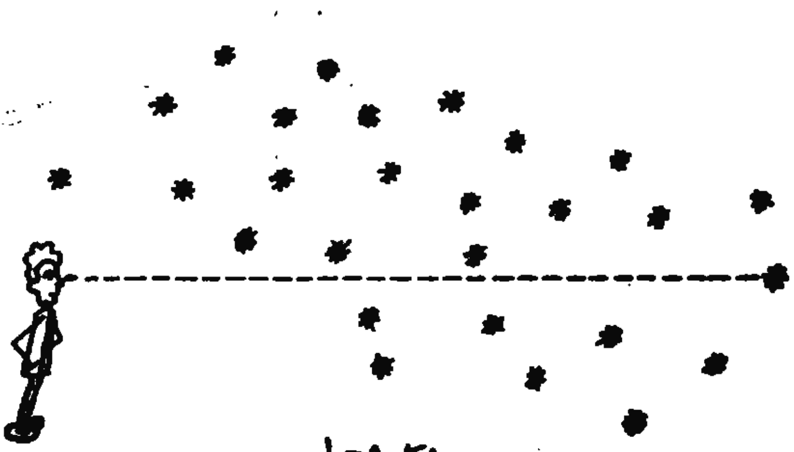
ولقد صار الافتراض بأن الكون على النطاق الواسع يتسم بالانتظام، مقبولا لدى معظم علماء الكونيات (وليس كلهم) وأصبح معروفا باسم المبدأ الكونى • ولو تطرفنا بهذه الفلسفة ، فسوف يقودنا ذلك الى التكهن بأن الأمر لا يقتصر على مجرد كون منطقتنا جزءا نمطيا فى الكون ، وانما تتعدى المسالة الى حد اعتبار العصر الحالى كله زمنا نمطيا • وهذا يعنى على النطاق الأرحب أنه حيثما فحص الكون فسيبدو دائما أبدا على هيئته نفسها بصورة أو بأخرى •

وكانت صورة الكون وفقا لهذه الخطوط مقبولة على نطاق واسع لدى علماء الفلك منذ قرن من الزمان • وكانوا على اقتناع بان النجوم فى حالة توهج مستمر وبانها موزعة بشكل منتظم فى فضاء لا نهائى •

غير أن هذا النموذج الباعث على الرهبة والعجب فى الوقت ذاته ، كان له عدد من العيوب الخطيرة · وكان واحد من هذه العيوب هو ما عرف بعد ذلك باسم تناقض أولبرز نسبة الى عالم الفلك الألمانى هنريش أولبرز Heinrich Olbers (١٧٥٨ ـ ١٨٤٠) · ويتمثل هذا العيب فيما يبدو من تناقض بين كون مستقر وممتد بشكل لا نهائى ، وبين الظلمة التى تكتنف السماء ليلا · وقد يكون ضربا من الحماقة أن نسأل لماذا تكون السماء مظلمة فى الليل ، ولكن فى اطار هذا النموذج للكون فان هذه المسألة تمثل مشكلة حقيقية · وتطرح الفيزياء الحديثة هذه المسألة بشكل أفضل باستخدام لغة الديناميكا الحرارية · ويقضى هذا العلم بأن سماء مظلمة ينبغى أن تكون سماء باردة ، وهذا يعنى أن درجة حرارة الكون فى المتوسط لابد أن تكون منخفضة للغاية (وهى فى الواقع تساوى نحو ثلاث درجات فوق الصفر المطلق) · وفى المقابل تتسم النجوم، من مثل الشمس ، بأنها ساخنة بشكل فائق ، حيث تبلغ الحرارة على سطحها آلاف الدرجات بينما قد تصل فى جوفها الى مئات الملايين من الدرجات · وقد نتساءل ببساطة : لماذا اذن لم تتسبب النجوم فى رفع درجة حرارة الكون حتى الآن ؟ كيف يتسنى أن يكون الكون مستقرا وفى الوقت ذاته فى حالة عدم توازن مستديمة من حيث لديناميكا الحرارية ؟ ولو كانت هناك اشعاعات تنبعث باستمرار من النجوم لصار الكون مكانا ساخنا للغية وامتلأ ليل السماء باشعاعات تصل الحرارة فيها الى آلاف الدرجات · ولو كان الأمر كذلك لتبخرنا على الفور ·

ولم يكن علم الديناميكا الحرارية منذ قرن مضى متطورا ، ولذلك عبر أولبرز عن هذا التناقض باستخدام نظرية البصريات · ويتسم المنطق الذى طرح به هذا التناقض بالبساطة، حيث قال انه لو كان الكون فسيحا بدرجة لا نهائية ، ولا يتغير مع الزمن ، ويمتلىء بالنجوم الساطعة بشكل مستديم والموزعة بانتظام ، فاينما يقع نظر المرء فى السماء لابد أن يرى نجما ، وبالتالى لن يكون ثمة مجال لوجود جزء مظلم فى ليل السماء ، وأى اتجاه يتحول اليه البصر لابد وأن يسطع بشمة بريق واحد من النجوم ·

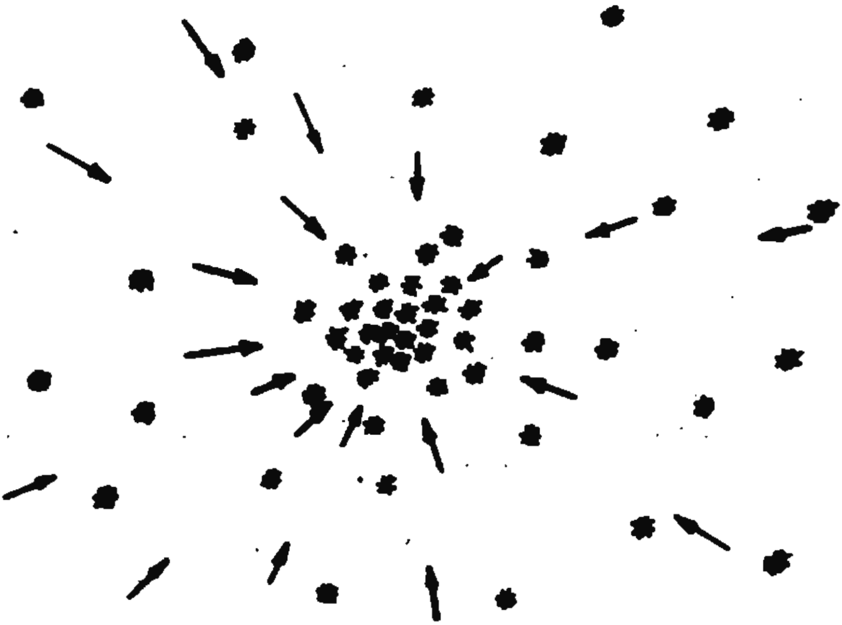
وليس من العسير التفكير فى عدد من الحلول لهذا التناقض · فلو أن النجوم على سبيل المثال ليست منتشرة على امتداد لا نهائى ولكنها مجمعة بدلا من ذلك فى فقاعة ضخمة تقع فى صورة أخرى من الفضاء الفراغ اللا نهائى ، فسوف يكون من شأن كل الفائض من الاشعاعات أن يتدفق للخارج فى هذا الفضاء ، لو اعتبرنا أنه لن يتجه أى منها



شكل ٥ – ١

الشكل ٥ ــ ١ : تناقض اولبرز · لو كانت النجوم منتشرة فى الفضاء بلا نهاية وبكثافة منتظمة فسوف يصطدم خط البصر ، اينما اتجه ، بواحد من هذه النجوم · ولن يكون هناك مجال لوجود اية منطقة مظلمة فى السماء · وتجدر الملاحظة بانه رغم ان النجوم البعيدة تبدو اضعف بريقا فانها تظهر ايضا اقل حجما بنفس النسبة · ومن شان كل نجم بالتالى ان يضىء المنطقة المحيطة به بنفس شدة النور · ولما كان عدد النجوم البعيدة يفوق كثيرا عدد تلك القريبة فان نسبة المساحة الاجمالية من السماء التى تحتلها كل النجوم عند مسافة معينة لن ترتهن بهذه المسافة · وبالتالى لو كانت قوة ابصارنا تسمح بان نرى لمسافات بعيدة بدرجة كافية لراينا السماء كلها مغطاة تماما بالنجوم · فلماذا اذن تبدو السماء مظلمة فى الليل ؟

للداخل · وبالطبع لم يكن ذلك هو النموذج الذى دار فى خلد كوبرنيكوس ، لأن النجوم بالقرب من حافة الفقاعة ستكون فى وضع خاص وليس فى وضع نمطى عادى (حيث انها ستواجه الفضاء الفارغ فى اتجاه واحد فقط) · وينبغى فى هذه الحالة أن نعتبر أن وجودنا بالقرب من مركز الفقاعة ، وهو ما يقتضيه هذا المنطق ، انما هو من قبيل الصدفة · وكان نيوتن قد أشار قبل ذلك الى وجه اعتراض آخر أكثر أهمية · فمن شأن قوة الجاذبية أن تشد النجوم الى بعضها · ولو كان لفقاعة النجوم حافة فلابد أن يكون لها جوف ، وبالتالى سوف يكون من شأن النجوم أن تسقط كلها فى هذا الجوف · وما دام ذلك لم يحدث ؛ فلابد أن تكون النجوم منتشرة على امتداد لا نهائى ·



الشكل ٥ ـ ٢ : الكارثة الكونية • لو كان الكون محدودا لصار له جوف ولكان من شانه ان يسقط داخل هذا الجوف تحت تاثير جاذبيـة النجوم • ولقد كتب اسحق نيوتن فى سنة ١٦٩٢ يقول ان من شان مثل هذا الكون ان يسقط فى وسط المكان وان يكون كتلة كرية واحدة ضخمة اما لو كانت المادة منتشرة بشكل منتظم خلال فضاء لا نهائى ••• فسوف يتجمع بعض منها فى كتلة ••• وبعض اخر فى كتلة اخرى وهلم جرا ••• وقد يكون هذا هو الاسلوب الذى تكونت به الشمس والنجوم •

وثمة حل آخر لتناقض أولبرز يختلف تماما عن سواه ، وقد جاء نتيجة ملحوظة طرحها بولتزمان حيث قال ان عـدم التوازن الحالى فى الديناميكا الحرارية للكون نجم عن ذبذبة طارئة هائلة (دورة بوانكاريه ـ انظـر القسم ٣ ـ ٣) من ذلك النـــوع الذى يتكرر كل ١٠^٨٠ سنة ! وعلى مدى هذا الزمن ، يحدث بين الحين والحين أن تتدفق تلقائيـا كل الحرارة الموجودة فى الكون الى داخل النجوم وترفع حرارتها الى ملايين الدرجات • أما ما نراه الآن فهو عملية ابطال ذاتى لمفعول تلك الذبذبة واعادة النجوم الى حالة التوازن مع الفضاء • والتبرير المستمد من هذه الرواية لظلمة السماء فى الليل هو ببساطة أن كل الحرارة قد تدفقت الى داخل النجوم فى توافق تـام • وأما لماذا وقـع الاختيار على الجنس البشرى ليشهد هذا الحدث بالـغ الندرة ، فهو على وجه التحديـد لأن الكائنات الحية ـ بما فيها علماء الكونيـات ـ تحتاج عدم التوازن هذا (وجود ضوء الشمس على سبيل المثال)لتعيش •

والواقع أنه لا يمكن أخذ فكرة بولتزمان بمأخذ الجد · فليس ثمة سبب يفسر لماذا ينبغي أن تتذبذب كل مناطق الكون معا من أجل اقامة الحياة على الأرض · ولو كان عدم التوازن قد حدث بهذا الأسلوب ، لكان من المستبعد تماما أن يظهر الميكروسكوب نجوما براقة ساطعة أيضا على مسافات سحيقة من الكون · والواقع أن احتمال وقوع مثل هذه الذبذبة الكونية يقل بدرجة فائقة عنه بالنسبة لأية ذبذبة محلية ·

وما كان الحل السليم لتناقض أولبرز ليخطر على بال أحد من علماء الفلك فى القرن التاسع عشر · وقد استوجب الأمر انتظار وصول التلسكوب ذى القطر البالغ مائة بوصة ، الى مرصد جبل ولسون بالولايات المتحدة ، والتوصل الى اكتشاف جوهرى يوازى اكتشاف كوبرنيكوس ، لحل هذا اللغز ·

٥ ـ ٢ الكون المتمدد

وفى عام١٩٢٩ أعلن عالم الفلك الأمريكى ادوين هوبل **Edwin Hubble** (١٨٨٩ ـ ١٩٥٣) بعض النتائج المستمدة من قياسات أجراها على الضوء الوارد من مجرات بعيدة · وبفحص التردد فى التوزيع الطيفى لضوء هذه النجوم البعيدة تبين أن خطوط الطيف مزاحة صوب اللون الأحمر (وهو طرف التردد الضوئى الضعيف فى التوزيع الطيفى)· وقد اكتشف هوبل أن هذه الازاحة الحمراء تتزايد بنسبة طردية مع بعد المجرة · وقد شرحنا فى الباب الثانى كيف يمكن أن تحدث ازاحة للتردد الضوئى نتيجة تباعد مصدر الضوء (تأثير دوبلر على سبيل المثال) · ومن الواضح أن المجرات الواقعة على مسافات كبيرة تبتعد عنا فى اطار نظام معين للحركة الكونية ، وكلما كانت المسافات أكبر كان الابتعاد أسرع · والنتيجة التى لا بديل لها اذن هى أن الكون يمتد · وكان من نتيجة هذا الاكتشاف غير المتوقع بالمرة أن غير طبيعة موضوع علم الكونيات برمتها، فان كونا متمددا يعنى انه كون متغير وبالتالى له تاريخ ، بل وقد تكون له بداية ونهاية · وقد عصف هذا الاكتشاف بكافة أنواع التناقضات من قبيل تناقض أولبرز ، فلم يعد هناك سبب لأن يخطر على بال أحد أن هذا الكون المتمدد يمكن أن يكون فى حالة توازن فى ديناميكيته الحرارية ·

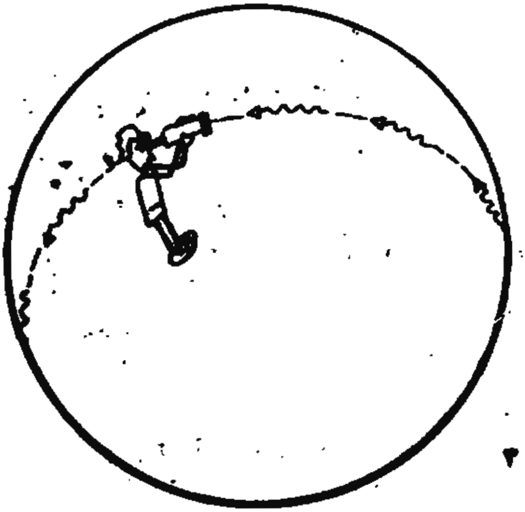
وبالاضافة الى ذلك ، فقد فجر هذا التمدد احتمالا آخر مثيرا : فاذا كان الكون يتحرك ، هل هو يخضع لبعض قوانين الحركة مثل قوانين نيوتن ؟ هل يمكن منطقيا أن نعتبر الكون كله جسما ديناميكيا واحدا ونعالج المسألة على هذا الأساس ؟

ان معظم أسس علم الكونيات الحديث قائمة على الافتراض بأن الاجابة على هذه الأسئلة هى نعم · ومن ثم يفترض العلماء أن الحركة الشاملة للكون تخضع للقوانين ذاتها التى تحكم حركة مكوناته منفردة ·

وتتمثل الخطوة التالية فى تقرير أى أنواع القوى ينظم الحركة الكونية · وليس هناك سوى القوى الكهرومغناطيسية وقوى الجاذبية التى تتسم بقدر من طول المدى يتيح امتداد فعاليتها عبر هذه المسافات الضخمة · وتتجاوز قوى الجاذبية فى الأجسام الضخمه ، القوى الكهرومغناطيسية فى شدتها وبفارق كبير حتى على مستوى المجموعة الشمسية · ولذلك نجد نظرية الحركة فى الكون مستمدة من نظرية الجاذبية · وكانت نظرية النسبية العامة ، وقت أن حقق هوبل اكتشافه ، قد ترسخت بالفعل كوصف مقبول للحركة تحت تأثير الجاذبية · ومن ثم بدأ الفيزيائيون يدرسون الديناميكا الكونية عن طريق بناء نماذج رياضية للكون من منطلق النسبية ·

وفى الواقع ، كانت النسبية العامة قد طبقت بالفعل على علم الكونيات بواسطة اينشتين ذاته قبل الاكتشاف الذى حققه هوبل · ومن الغريب أن اينشتين أصيب بالفزع عندما وجد أن نظريته لا تنم الا عن أكوان متمددة أو منقبضة · فلقد كان يسعى ، تمشيا مع الاعتقاد السائد فى ذلك الوقت بأن الكون مستقر لا يتغير ، الى بناء نموذج استاتيكي للكون لا يتعرض للسقوط للداخل تحت تأثير جاذبيته الذاتية ، أو للتمدد سعيا الى الفكاك منها · بل لقد ذهب به الأمر الى تعديل النظرية العامة لتحقيق هذا المطلب ، عن طريق اضافة قوة طرد كونية اضافية بهدف موازنة قوى الجاذبية المنبعثة من النجوم ·

وقد اختلف نموذج اينشتين عن النماذج الاستاتيكية السابقة المبنية على نظرية نيوتن بشأن الجاذبية ، فى سمة جديدة تماما ومثيرة ، حيث افترض أن الكون محدود ولكنه على هيئة واحدة فى كل مكان ، أى انه كون محدد الحجم ولكن ليست له حافة ! وما كان ليتسنى التوصل الى مثل هذه الصورة الرهيبة باستخدام نموذج نيوتن للمكان والزمان · أما المكان المنحنى وفقا لنظرية النسبية العامة ، فانه لا يتعارض مع هذه السمة · وكنا قد أوردنا مثالا من هذا القبيل فى الباب الرابع مبنيا على التناظر مع سطح الكرة ثنائى البعد ، حيث يتصف السطح الكرى بأنه محدد الأبعاد ولكن ليس له حافة أو حدود فى أى اتجاه — انه بمثابة مكان محدد الأبعاد ولكن لا تحده حدود · وفى اطار نموذج اينشتين ، يتسم المكان ثلاثى الأبعاد بطبوغرافيا تماثل تلك التى تتصف بها الكرة ، ولكن



شكل ٥ ـ ٣

الشكل ٥ ـ ٣ : المرء يرى قفاه • يتسم نموذج اينشتين للكون بانه محدد فى حجمه ولكنه ليس محفوفا بحدود ، وبالتالى يمكن للضوء ان يدور حوله فى اى اتجاه ويعود الى نقطة بدايته • ومن هذا المنطلق يمكن للشخص (مجهز بتلسكوب قوى بدرجة كافية) ان يرى قفاه ! ويمثل السطح الكرى شكلا هندسيا ثنائى البعد يتصف بهذه الخاصية الغريبة فيماثل بذلك نموذج اينشتين للكون •

فى ثلاثة أبعاد بالطبع بـدلا من اثنين • ومن ثم يتمثل نموذج اينشتين للكون فى أنه مكان ذو حجم محدد ولكن بلا حدود أو حافة ، والمجرات موزعة فيه بشكل منتظم تمشيا مع المبدأ الكونى • أى أن المكان ، بدلا من أن يمتد للخارج بلا نهاية ، فانه ينغلق مع نفسه تماما مثلما يتصل سطح الكرة مع نفسه من الجهة الأخرى بشكل مستدير • وذلك يعنى أنه لو انطلقت اشارة ضوئية من موقع فى أى اتجاه فسوف تعود الى نقطة الانطلاق ثانية من الاتجاه المضاد بعد أن تكون قد دارت حول الكون كله•

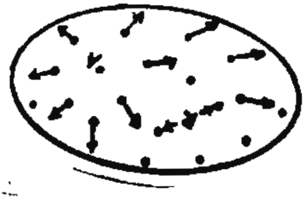
ولاشك أن تصوير الكون على هيئة مغلقة ، محددة الحجم وفى الوقت نفسه بلا حدود ، يمثل بالتأكيد فكرة جديدة وغريبة • ويجد الناس عادة بعض الصعوبة فى تصور مثل هذا الكيان ، وكان دائما يتردد السؤال التالى : ماذا يوجد « خارج » مثل هذا الكيـــان محدود الحجم ؟ والاجابة على هـذا السؤال هى أنه لا يمكن أن يكون هنـاك ما يسـمى « بخارج » الكون وفقا لنموذج اينشتين ، لانه لو كان هناك « داخل » و « خارج » فلابد من وجود حدود بينهما ، ولا توجد مثل هذه الحدود

فى هذا النموذج ، فكل النقاط متكافئة تماما وليس منها ما هو قريب من « المركز » أو « الحافة » ، فليس ثمة مركز أو حافة ٠

وكان أول من استخدم نظرية النسبية العامة لبناء سلسلة من النماذج الرياضية لكون متمدد هو خبير الأرصاد الجوية الروسى الكسندر فريدمان Alexander Friedmann (١٨٨٨ ــ ١٩٢٥) الذى نشر أعماله فى عام ١٩٢٢ ٠ ومازالت هذه النماذج تمثل الاطار النظرى الرئيسى لمناقشة معظم جوانب علم الكونيات الحديث ٠ وتتجسد السمة الرئيسية لنماذج فريدمان فى انها تفترض صفة الانتظام فى الفضاء ٠ وقد أشرنا آنفا الى أن مجموعات المجرات موزعة ، وفقا للمبدأ الكونى ، توزيعا منتظما فى الفضاء ٠ وجاء فريدمان وافترض أن المادة موزعة بانتظام دقيق، ثم حل معادلات اينشتين للنسبية العامة بناء على هذا التوزيع ، ليقف على شكل التغير الذى سيطرأ على البنية الهندسية للمكان مع الزمان ٠ وبسبب الانتظام ، فان التغير الوحيد الذى يمكن أن يطرأ على البنية الهندسية هو تغير شامل فى « المقياس » ، أى اما تمدد أو انكماش بنفس المعدل فى كل مكان ٠

ولفهم هذا التمدد بأسلوب بسيط يمكن الاستعانة بقطعة من المطاط ٠ ويصور الشكل (٥ ــ ٤) قطعة المطاط هذه وقد تغطت بنقط سوداء موزعة بانتظام ٠ وتمثل هذه النقط المجرات (أو بمعنى أدق مجموعات المجرات) بينما تجسد قطعة المطاط الفضاء ٠ ويمكن تشبيه تمدد الكون بعملية شد أو اطالة قطعة المطاط٠ ولكى يكون التمدد منتظما ينبغى أن يكون الشد متساويا فى كافة الاتجاهات وبالنسبة لجميع النقط٠ ومع تمدد قطعة المطاط تبتعد كل نقطة عن جميع النقط الأخرى٠ ولو اتخذنا من أية نقطة مرجعا ، فسنجد أن كافة النقط الأخرى تبتعد عنها بحيث تبدو كما لو كانت مركزا لحالة تمدد عام ٠ غير أن ذلك ليس صحيحا بالمرة لأن كل النقط يمكن أن تكون هى هذه النقط المرجع ٠ فليس هناك مركز للتمدد وليس هناك مركز للكون ٠ ولاشك أن قطعة المطاط ، على نحو ما هى مرسومة ، لها مركز ولكن يمكن التغلب على ذلك عن طريق زيادة مساحتها الى ما لا نهاية أو عن طريق لفها على هيئة كرة ٠

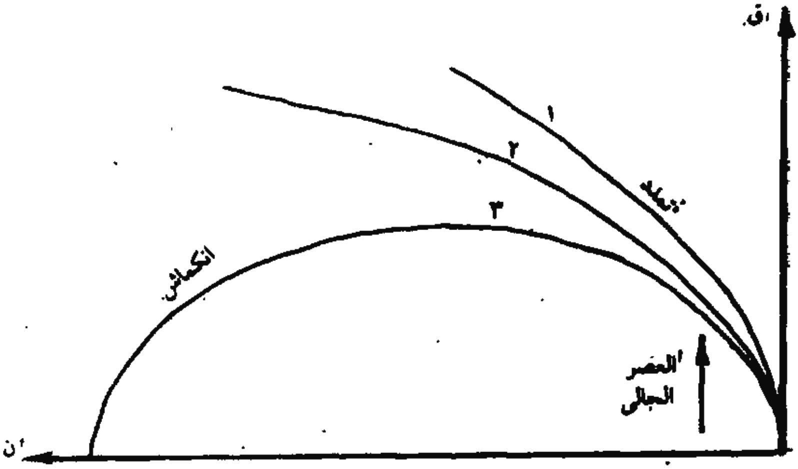
وينبغى أيضا أن نفهم من هذا التماثل أن التمدد الكونى مستمد من تمدد الفضاء (المكان) ذاته الممثل بقطعة المطاط، ومن الخطأ أن يتصور أحد أنه ناجم عن هجرة المجرات الى الخارج صوب منطقة فراغ موجودة من قبل ٠ ويمكن توصيف التغير فى البنية الهندسية عن طريق تحديد



الشكل ٥ ـ ٤ : تمدد المكان • تتعرض قطعة من المطاط المنقاة بالنقط لعملية تمدد منتظم • ولو اعتبرنا اية نقطة ، مثل النقطة (١) مرجعا ، فسنجد سائر النقط الأخرى تبتعد عنها ـ ومن شأن النقط البعيدة أن تبتعد بسرعة اكبر من تلك القريبة • وليس ثمة مركز للتمدد ولكن هناك فقط تغيرا شاملا في المقياس بالنسبة لجميع الابعاد (كالمسافة ف على سبيل المثال) •

المسافة بين أية نقطتين نمطيتين• ولان التمدد منتظم فسوف يتغير مقياس هذه المسافة بمعدل متساو أيا كانت النقطتان المختارتان • وهذا يعني أن معدل التباعد بين نقطتين يتناسب طرديا مع المسافة بينهما ، تماما مثلما قال هوبل عن المجرات • ويبعث هذا العامل وحده بعض الثقة في أن واحدا من النماذج الرياضية التي وضعها فريدمان يشكل تجسيدا تقريبيا جيدا للبنية الكونية الحقيقية على النطاق الكبير • ولكن أي النماذج هو ؟ ثمة ثلاثة نماذج محتملة مبينة في الشكل ٥ ـ ٥ الذي يمثل تغير عامل المقياس ، وسنرمز اليه بالحرف (ق) ، مع الزمن (ن) •

ولكن قبل أن نناقش هذه النماذج بالتفصيل يجدر أن نتحدث قليلا عن طبيعة الزمان المستخدم هنا • ولعله قد تبين من البابين الثاني والرابع أن الزمان المستخدم من جانب مراقب معين يرتهن بحركته النسبية وبمجال الجاذبية الذي يقع فيه • فكيف يتسنى اذن بناء زمان مشترك (ن) لوصف مسلك الكون كله بينما يعد هو ذاته في حالة حركة ، علاوة على تغير مجال جاذبيته ؟ ومرة أخرى نجد الاجابة متعلقة بالمبدأ الكوني • فلما كان الكون (على النطاق الكبير) يبدو على هيئة واحدة لو رصد من أية مجموعة مجرات ، ولما كان التغير بالتمدد يتم بنفس المعدل في أي مكان ، فان التأثير على معدل مرور الوقت يعد واحدا في كافة المواقع ، شريطة ألا تكون آلة قياس الوقت بالطبع في حالة حركة نسبية لمجموعة المجرات المحلية ، اذا كان ثمة مجال لوجود تأثير للتمدد الزمني النسبي • وتشكل المجرات في كل مكان فئة من الأطر المرجعية المتميزة ـ التي تتسم ـ بأن الكون يتمدد فيها بمعدل موحد في كافة



شكل ٥ ـ ٥

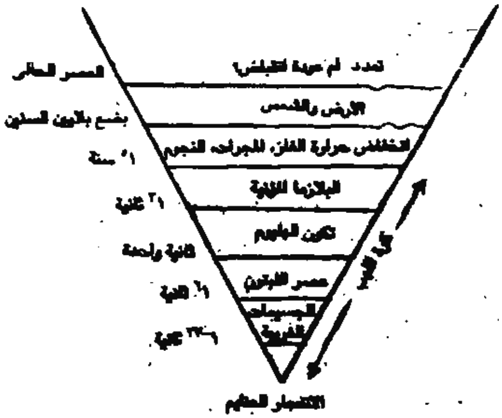
الشكل ٥ ـ ٥ : النماذج التى وضعها فريدمان للكون • عندما يتمدد الكون ، فان حجم اية منطقة نمطية فى الفضاء يتزايد ويمثل الرسم شكل هذا التزايد وفقا للاحتمالات الثلاثة التى اكتشفها فريدمان • وتبدأ المنحنيات الثلاثة من نقطة الصفر (اى ق = صفر) ويتسم النموذجان ١ ، ٢ بانهما يتمددان الى مالانهاية اما النموذج رقم ٣ فهو يتعرض للتباطؤ حتى يصل لمرحلة التوقف التى يتبعها انقباض يعود به مرة ثانية الى العدم •

الاتجاهات • وتمثل هذه الفئة المتميزة المجال الذى يمكن فى اطاره المقارنة بين معدلات مرور الوقت • فالأرض على سبيل المثال تتحرك ببطء (مقارنة بالضوء) بالنسبة لمجموعة المجرات المحلية وبالتالى يعد توقيت الأرض وسيلة دقيقة لقياس زمان حالة الكون على النطاق الواسع على نحو ما يراها مراقب بعيد يتحرك مع مجموعته المجرية المحلية • وفى المقابل ، فمن شأن الأحداث الكونية أن تبدو بمقياس زمنى مختلف بالنسبة لمراقب يتحرك فى صاروخ بسرعة تزيد كثيرا على سرعة الأرض ، فمثل هذا المراقب لا ينتمى للمجموعة المتميزة من المراقبين لأن حركته السريعة ستجعله يبدو ، بالنسبة لبعض المجرات الموجودة فى اتجاه حركته ، كأنه يقترب بدلا من أن يبتعد •

ويطلق على مثل هذا الزمان « الزمان الكونى » ، ولأنه لحسن الطالع يتطابق الى درجة كبيرة مع التوقيت الأرضى ، فانه يتيح لنا مقارنة ما جرى من أحداث تاريخية على الأرض مع شتى الأحداث الكونية • ويوضح الجدول التالى هذه المقارنة ، مما قد يساعد القارئ على تقدير الأطوال الزمنية التى نتحدث عنها فى هذا الباب •

الجدول ٥ ـ ١ ـ تاريخ الكون : الشكل الأعلى يوضح التاريخ العكسى بينما يبين الشكل الأسفل التاريخ الجارى منذ الانفجار العظيم ٠

السمة	العمر بالسنين
الثقافة التكنولوجية	١٠٠
الحضـــارة	١٠ ٠٠٠
نشأة الانسان	٥ ملايين
نشأة الثدييات	٢٠٠ مليون
نشأة الحياة على الأرض	٣ بلايين
٠ تكون الأرض	٤½ بليون
الكون	١٠ ـ ٢٠ بليونا



الانفجار العظيم

ولو عدنا الآن الى نماذج فريدمان ، فسنجد أن الأمثلة الثلاثة الموضحة فى الشكل ٥ ـ ٥ مستنتجة من حل معادلات أينشتين مع اهمال ما تولده محتويات الكون من « ضغط » (وتشكل هذه الضغوط مصدرا للجاذبية وفقا للنسبية العامة) ٠ ويمثل ذلك درجة تقريب جيدة فى المرحلة الحالية لأن تأثير الجـاذبية النـاجم عن كتلة المادة فى المجـرات يفوق كثيرا تأثير الضغوط الضعيفة فى الكون (الناجمة أساسا عن الاشعاعات) ٠ ومن

السمات المهمة التى تتصف بهـــا هذه النماذج أن معدل التمدد يتناقص بشكل منتظم مع الزمن ، وهذه ســـمة يتميز بها عدد كبير من النماذج التى يفترض أن مسلك المحتـويات المادية فيهـــا يتسم بالاعتـدال • ومن المـــلاحظ أن كل المنحنيات المرســـومة فى فى الشـــكل تنحنى تدريجيا لأســـفل • ويوضـــح السهم الموضـــع الذى يتكهن به العلمــاء للعصر الحالى • ويستتبع ذلك أن عامل المقياس (م) لابد أنه كان عند لحظة معينة فى الماضى ، يساوى صفرا وفقا لكل واحد من هذه النماذج • ويعبر ذلك عن حقيقة طبيعية مؤداها أن المجرات التى نراها حاليا فى حركة تباعد كانت فى وقت من الاوقات قريبة تماما من بعضها • وتحتاج النقطة المحددة ، المتمثلة فى حالة الكون بالقرب من الوضع (م = صفر) ، بعض المناقشـــة ، وســـوف نرجىء ذلك قليلا حتى نستكمل اســتعراض السمات الأخرى للنماذج التى طرحها فريدمان •

دليل بيديستر لحلول فريدمان

مقولة تفيد ما يعلو لابد انه سيهبط ! ولكن هذا غير صحيح ، وحتى نيوتن قد عرف ذلك ، ثم اثبته انطلاق الصواريخ الى الفضاء ــ فلو أطلقت كتـلة الى اعـلى بسرعة كافية ، لستقلت من الجاذبية الارضية • ومن المعروف ان

الطاقة الاجمالية = الطاقة الحركية + الطاقة الكامنـة = ثابت

وبالنسبة للتناظر الكرى فان هذه المعادلة تتخذ الصورة التالية .

حك١

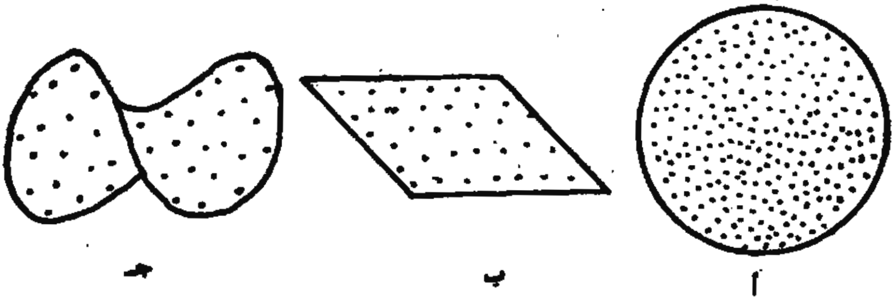
ط = ½ ك ع٢ ــ ـــــــــ ، حيث هى معدل زيادة (ف) ، وبالتـالى يمكن

ف

(ط) هى الطاقة الاجمالية الثابتة و (ك) (ع) هما كتلة المقـذوف وسرعتـه على التوالى ، (ف) هى مسافته من الارض و (ك ١) هى كتلة الارض • لاحظ ان (ع) حل هذه المعادلة بسهولة واستنتاج قيمة (ف) بدلالة الزمن (ن) • ولو كانت (ط) موجبة نحصل على المنحنى رقم (١) فى الشكل ٥ ــ ٥ ، ولو كانت سالبة نحصل على المنحنى رقم (٣) اما لو كانت صفرا نحصل على المنحنى رقم (٢) •

وتماثل هذه الحلول البسيطة نمـــاذج فريدمان للكون ، طـبقا للحسابات القائمة فى نظريه بيشتين للنسبية العامة ــ وهى اصعب نظرية فى الفيزياء من حيث الحل الرياضى • ويفيد المنحنى رقم (١) بأن الفرصـــة متاحـة للكون (وهو يناظر المقذوف وهو مختزن بعض الطاقة • ويمثل المنحنى فى الحل الرياضى الوارد اعلاه) لان يفلت رقم (٢) الحد الفاصل لامكانية افلات الكون ، أما المنحـنى رقـم (٣) فيعـنى أن الكـون (المقذوف) لن يتمكن من الافلات وسيهبط عائدا •

ويتيح لنا الشكل (٥ ـ ٥) أيضا التكهن بمستقبل الكون . وهو يوضح أن هناك احتمالين محددين : فالمنحنيان (١) و (٢) يبينان أن التمدد الكونى سيستمر للأبد • ويمكن فهم السبب فى ذلك بالوسيلة البسيطة التاليـــة •



شكل ٥ ـ ٦

الشكل ٥ ـ ٦ : البنيات الهندسية المحتملة للتمدد الكونى • ومرة اخرى سنلجا الى استخدام لوحة ثنائية البعد لتمثيل بعض سمات المكان ثلاثى الأبعاد • وتمثل « البالونة المتمددة » فى الشكل (أ) النموذج رقم (٣) للكون (وفقا لنماذج فريدمان) ، وهو النموذج الذى سيعود فى وقت ما الى الانقباض • ويجسد الشكل (ب) النموذج رقم (٢) « المستوى » (الاقليدى) ، الذى تعلمنا هندسته فى المدارس • اما فى الشكل (جـ) فان انحناء المكان يتجه « للخارج » على عكس الانحناء « للداخل » الذى يتسم به الشكل (أ) • وهذا يعنى أن الكون فى الحالتين (ب) و (جـ) سيبقى فى حالة تمدد الى ما لا نهاية ، اما فى الحالة (أ) فان له مصيرا محددا •

وتتسم كثافة المادة فى النموذج رقم (١) بأنها على درجة من الضآلة بحيث انه رغم الجاذبية الذاتية للكون التى تعمل على ابطاء عملية التمدد ، فانه بعد فترة زمنية معينة يصبح التمدد حرا بشكل شبه مطلق ـ وهذا يعنى أن المجرات قد أفلتت من تأثير جاذبيـــة بعضـــها البعض • وفى النموذج الثانى تتصف الكثافة بأنها كبيرة بدرجة تتيح استمرار عملية ابطاء التمدد الى الأبعد ، ولكنها لاتصل الى حد أن توقف هذا التمدد تماما • أما فى النموذج رقم (٣) فان الكثافة تكون عالية لدرجة أن عملية التمدد تتخذ عند قيمة قصوى لـ (م) ، اتجاها عكسيا ، حيث تعود المجرات الى التجمع مرة ثانية ، ثم يتقلص هذا الكون مثـــل الفقاعة النيوتونيـــة ، وينكمش الى الداخل حتى يصل فى نهاية المطاف الى حالة مماثلة لوضعه عند بداية التمدد •

ويعزى السبب في وجود ثلاثة نماذج متباينة في هذا الاطار الى أن البنية الهندسية للمكان في الكون المنتظم يمكن أن تتخذ واحدا من ثلاثة أشكال مختلفة ، وتتمثل بشكل تقريبي هذه الصور للبنية الهندسية في أن المكان يمكن أن ينحني للداخل ، مثل حالة الكرة ، أو للخارج مثل السرج أو يكون مستويا بالطريقة العادية (انظر الشكل ٥ — ٦) ، ومن شأن المكان في حالة الكثافة العالية والنموذج المحتمل عودته للانقباض ، بأنه ينحني للداخل وبأن له حجما محدودا ، شأنه في ذلك شأن نموذج اينشتين ، غير أن ثمة وجه اختلاف يتمثل في أن نموذج فريدمان هو عبارة عن مكان كرى يتمدد وينقبض كما لو كان بالونة تنتفخ بالهواء ثم تفرغ منه ·

ويتسم المكان في النموذج الذى يصوره المنحنى الأوسط رقم (٢) بأنه مستو بالطريقة الاقليدية ، بينما يتصف المكان في النموذج « المتحرر » رقم (١) بالانحناء للخارج ، وكلاهما يعد ذا حجم لانهائى · وقد يجد الناس فى بعض الأحيان صعوبة فى تصور الكون على هيئة توزيع لانهائي لمجرات في حالة تمدد مستمر ، فاذا كانت المجرات تملأ المكان بالفعل ، ما الذى يبقى لها لتتمدد فيه ؟ ونرد على ذلك بأنه ينبغى على القارىء ألا ينسى أن المجرات لا تتمدد خلال مكان (فضاء) ثابت ولكنها واقعة فى فضاء هو ذاته يتمدد ، أو يمكن القول ببساطة ان مقياس المسافات يتزايد فى كافة الاتجاهات ·

٥ ـ ٣ نشأة الكون ؟

واذا كان الكون يتمدد ، فلابد أنه كان فى الماضى أكثر انكماشا · ويوضح الشكل (٥ ـ ٥) أن معامل مقياس المسافات كان عند وقت معين فى الماضى متلاشيا (م = صفر) وتمثل هذه النقطة بداية التمدد بالنسبة لنماذج فريدمان · ويرتهن الى حد ما التوقيت الدقيق لهذا الحدث ، بالنموذج المعنى من بين النماذج الثلاثة · وبقياس السرعة التى تبتعد بها عنا المجرات الموجودة على بعد معين من الأرض ، يمكن حساب معدل التمدد وبالتالى يمكن تحديد الوضع الحالى للكون على نحو ما هو مبين فى الشكل (٥ ـ ٥) · ومن الملاحظ فى هذا الشكل أن المسلك الأولى للنماذج الثلاثة كان فى الواقع متماثلا الى حد كبير وأن الزمان المنقضى منذ هذه اللحظة (م = صفر) يتراوح بين ١٠ بلايين و ٢٠ بليون سنة ·

وما دامت (م) هي مقيـــاس المســـافة بين أية مجرتين فالنقطة (م = صفر) تتناسب مع الوضع الذى تتلاقى فيه كافة المجرات وتتلاشى فيه كافة الأطوال والأبعاد ، ولو وصلنا الى الحالة القصوى فان ذلك يعنى أن كل حجم الفضاء الذى نراه ، حتى من خلال أقوى التلسكوبات سيتقلص الى لا شيء بالمرة ٠

ونستنتج من ذلك أن كل المادة فى هذا الكون المرئى ، والتى تشكل حاليا المجرات بما تحتويه من ملايين النجوم والغبار والغاز والمادة الموجودة فيما بين المجرات ، كل ذلك كان عند هذه اللحظة مضغوطا فى نقطة واحدة (بالمفهوم الرياضى) ذات كثافة لانهائية ! ويسمى ذلك فى النسبية العامة الحديثة « الفذاذة » singularity ٠ ولقد تحدثنا عن الفذاذة فى الباب الرابع عندما كنا نناقش مســـألة الثقوب الســوداء ٠ والواقع أن حالة نموذج فريدمان للكون عند بداية التمدد تعد هى الحالة ذاتها عند مركز نموذج شفارزشيلد للثقب الأسود ٠ ولكن الى أية درجـــة من الجدية يمكن أن نأخذ بها مســـألة الفذاذة ؟ ولعلنا نسترجع من الباب الرابع أن الفذاذة لم تكن فى حقيقة الأمر جزءا من النظرية ٠ فلو وصلت كثـــافة المادة الى قيمة لانهائية ، لن يبقى هناك مجال لاستخدام معادلات اينشتين لوصف الوضع بشكل سليم ٠ وان وجود الفذاذة فى نماذج فريدمان يقتضى أن تتقوض النسبية العامة ، بل ومن المحتمل أيضا أن يتقوض وصف المكان ـ الزمان ذاته ، فى مرحلة مبكرة بدرجة ملائمة ٠ ومن المعروف بالطبع أن نظرية الكم بشأن مجال الجاذبية لا تنطبق الا على الحالة التى يعتبر فيها مقياس الأبعاد ضئيلا بدرجة كافية ٠ وفى حـــالة الكون ، لايحدث ذلك الا عندما تكون كل محتويات الكون المرئى متقلصة فى حجم نواة ذرية واحدة ٠ ومن شأن ذلك أن يحدث بعد نحو ١٠ - ٤٣ ثانية من بداية التمدد ٠ والشيء الواضح هنا هو أن وصف المكان ـ الزمان لا يمكن أن يستمر من خلال الفذاذة ٠

واذا لم يكن هناك مجـــال لوجود المكان ـ الزمان عنـــد الفذاذة ، فهذا يعنى أن النقطة (م = صفر) فى نماذج فريدمان تصف الوضع الذى انبعث فيه المكان ـ الزمان الى الوجود ٠ ويقودنا ذلك الى أن وجود الفذاذة فى نظرية فريدمان قد أدى الى ما نراه الآن من اعتقاد واسع النطاق بان بداية التمدد كانت هى لحظة نشأة الكون ٠ ولاشك ان الفذاذة تعد حتى الآن أقرب شيء اكتشفه العلم الى عملية المجيء الى الوجود ٠ ولو كانت الفذاذة قد وقعت بالفعل بالاسلوب الوارد فى نماذج فريدمان ، مع وصول كثافة المادة الى قيمة لانهائية ، لأغلق ذلك الباب أمام استمرار الفيزياء ، أو أمام استمرار التفكير الفيزيائى من خلالها فى محاولة للوصـــول الى

مراحل أكثر تبكيرا بالنسبة للكون • وهذا يعنى أنه لايمكن التكهن بأى شيء ذى معنى طبيعى أو يمت بصلة لعلم الفيزياء ، يسبق بداية التمدد • وهذا شرط يتماشى فيما يبدو مع مقتضيات عملية الخلق أو النشأة •

ولو التزمنا حرفيا بنماذج فريدمان ، فسنجد أن كل المادة فى الكون، وليس المكان ـ الزمان فقط ، قد بعثت الى الوجود عند الفذاذة • ولقد تصادف أن تكون الفذاذة هى النقطة الوحيـــدة التى يجيز فيهـا علماء الفيزياء المتخصصون فى الجسيمات الأولية ، نشأة المادة الأصليه وقد ذكرنا فى القسم (٤ ــ ٤) أن الجسيمات تحمل أنـواعا مختلفـة من البطاقات وتحتفظ بها حتى لو تحولت من صنف الى آخر أو عندما تتكون فى ثنائيات • وهذا يعنى أنه لا مجـــال لأن تتكون مادة بدون أن يتكون مقدار مماثل من المادة المضادة • غير أن كل القوانين الفيزيائيـة من هذا القبيل تصبح باطلة عند الفذاذة وبالتالى من الوارد فى هذه اللحظة أن تنشأ المادة دون أن تكون مصحوبة بالمادة المضادة •

ومن السمات البارزة لهذا التصور العلمى لنشأة الكون أن عملية الخلق شملت المادة وأيضـا المكان ــ الزمان برمتــه • ويتناقض ذلك مع ما جـاء فى التوراة بشأن الخلق والذى يفيد بان الأشياء المادية قد خلقت فى عدم كان موجودا من قبل • أما المفهوم الذى نتحدث عنه فهو يفيد بأنه قبل التمدد ليست المادة وحدها هى التى لم تكن موجودة ، ولكن لم يكن هناك أيضا مكان او زمان • وينبغى أن ننظر الى الفذاذة باعتبارها حـدا زمنيا فاصلا لكل شيء ، ولذلك ، فلا مجال لأن يطرح السؤال القائل : ماذا حدث « قبل » الانفجار العظيم ، فكلمة « قبل » تقتضى وجود ترتيب زمنى ، وذلك أمر لا وجود له عند الفذاذة • وينسحب الشيء ذاته على مسألة السببية ، حيث عادة ما يتساءل الناس عن السبب الذى أدى الى حدث الخلق • ولما كان السبب يسبق دائما الحدث ، فهذا يقتضى مرة أخرى وجود ترتيب زمنى وذلك أمر مرفوض • علاوة على ذلك ، فان نفس فكرة وجود أسباب سابقة على الحدث ، تفقد معناها لأن الاعتبارات الزمنية لايمكن أن تمتد الى ما وراء الفذاذة • وتوضـــح كل هذه الاعتبارات أن مفهوم حدث الخلق فى نظرية النسبية يعد على الصعيد الطبيعى أكثـــر عمقا بكثير عنه فى التوراة • وسوف نعود مرة أخرى فى الباب السابع الى تناول بعض الجوانب المتعلقة بالسببية والخلق فى ضوء تحليل عدم التناظر الزمنى فى الكون •

ويتقبل معظم المشتغلين بعلم الكونيات هذا التفسير الذى أوردناه لنماذج فريدمان • أما النقطة المثار حولها الجدل فهى ، الى أى مدى يمكن الوثوق فى السمات المبسطة لنماذج فريدمان كوصف للكون الحقيقى •

وقد ذكرنا فى وقت سابق أن الضغوط فى الكون قد أهملت عند حساب النماذج التى نتحدث عنها هنـــا • ومن سنن الطبيعة أنه عندما تتعرض مادة للانضغاط تتولد مقاومة داخلية تمنع مزيدا من الانضغاط • وقد نتوقع فى حالة الكون أن يكون من شأن مثل هذه المقاومة أن تحول دون الانكماش اللانهائى للكون عنـدما تقترب قيمة (م) من الصفر • والواقع ان الضغط يصل الى قيمة بالغة فى المراحل الأولى من التمدد • ويرجع ذلك فى معظمه الى الاشعاع فى الكون • ولعلنا نتذكر أنه من شأن الضوء أن يتزحزح صوب اللون الأحمر نتيجة التمدد ، وهذا يعنى أن الضوء فى الماضى كان أقرب الى الطرف الآخر من التدرج الطيفى ، أى من التردد الأعلى وبالتالى فهو أقرب الى الطاقة الأعلى غير أن الضوء من شأنه ان يولد ضغطا يتناسب طرديا مع طاقته (وثمة تجربة بسيطة تثبت أن الضوء يولد ضغطا ، صحيح أنه بمقدار ضئيل ولكن له أهميته • وتتمثل هذه التجربة فى تسليط ضوء بطارية قوية على طاحونة هوائية معلقة بشكل دقيق فى فراغ ، والنتيجة هى أن الضوء سيؤدى الى دوران الطاحونة) ، ونستنتج من ذلك أن الضغط الناجم عن الاشـعاع يتولد بمعدل متزايد كلما كان التمدد فى مراحله الأولى •

وقد ذكرنا آنفا أن الضغط يعد أيضا مصدرا للجاذبية وفقا لنظرية النسبية العامة • والواقع أن الضغط الناجم عن الاشعاع خلال المليون سنة الأولى من التمدد أو نحو ذلك ، كان يغلب على كثافة المادة فى هذا المجال • ونظرا للجاذبية الناجمة عن الضغط ، لا مجال لأن تتوقف عملية تقلص الكون ، بل انها فى الواقع تؤدى الى زيادة معدلها (فيما عدا عند الاقتراب من م = صفر بالطبع حيث تؤدى الى ابطاء عملية الانقباض) • ويتبين لنا من ذلك انه لايمـــكن تجنب الفذاذة فى نماذج فريدمان لو أخذنا فى الحسبان بتأثيرات الضغط •

وتوفر دراسة بعض النماذج الأخـــرى التى تتسم بقدر أكبر من العمومية مقارنة بنماذج فريدمان ، مؤشرا يوضح بدرجة أو بأخرى الى أى مدى يمكن الأخذ بعين الاعتبار احتمال حدوث فذاذة فى الكون الحقيقى • والواقع أن هذا الانتظام البديع الذى يعم كل مكان فى الكون يشكل واحدا من الألغاز المستعصية على الفهم فيما يتعلق بحالة هذا الكون ، ويرجع جانب من هذا الغموض الى أن كل نقطة فى هذا الكون المتمدد محاطة بحافة

أفق ، مثل تلك التى تحيط بالثقب الأسود ، وهذه الحافة تحول دون وجود آية اتصالات بالمرة بين المناطق التى تفصل بينها مسافات بعيدة بدرجة كافية · وتقع حافة الأفق التى تحيط بنا حاليا على بعد ١٠^٢٨ ســــم ، أى نحو عشرة بلايين سنة ضوئية · ومن شأن المادة عند هذه النقطة أن تبتعد عنا بسرعة تصل بدرجة أو بأخرى الى سرعة الضوء (أى تصل الى حد الزحزحة الحمراء اللانهائية) ، وبالتالى ، لا مجال لوجود أى اتصال بيننا وبين أى مكان فى الفضاء يقع الى أبعد من هذه النقطة · ولما كانت حافة الأفق هذه تتنامى مع الوقت فسوف يكون بوسعنا ذات يوم أن نرى المادة التى تقع على مسافة تزيد على ١٠^٢٨ سم من الأرض ·

وعلى النقيض من ذلك ، كانت حافة الأفق محدودة للغاية فى الأزمنة المبكرة · وتفيد نماذج فريدمان بأن هذه الحافة ، بعد ١٠^١٨ ثانية من بداية التمدد ، كانت من الضآلة بمكان حتى ان حجمها لم يكن ليزيد عن حجم الذرة ·

ولما كانت مثل هذه المناطق المحدودة من الكون منفصلة عن بعضها فى بداية التمدد ، لم تكن أى منها « تعلم » شيئا عما يجرى فى المناطق الأخــــرى ، فكيف اذن كان من شـــأن الكون المرئى برمته أن يتمدد بمعدل واحد ؟ ·

ويفيد واحد من الردود المطروحة على هذا السؤال بأن ذلك لم يحدث أصلا ، والسيناريو البديل هو أن الكون قد بدأ تمدده بشكل عشوائى تماما الى أن ظهرت آليـــة ما امتصت الخلل وأضفت الانتظام على مسلك الكون · ويضفى الافتراض بوجـــود فوضى تامة فى بداية الكون ، وهو ما يتناقض تماما مع الافتراض العكسى بوجود انتظام تام فى هذا الوقت ، سمة اضافية تلقى بعض الترحيب وتتمثل فى أنه لم تكن ثمة حاجة لأن ينشأ الكون فى ظل ظروف خاصة · فلو أمكن التوصل الى آليـــة مقنعة لامتصاص الفوضى وتخفيف حدتها فسوف تفتح الباب لمجال واسع من الاحتمالات بالنسبة لظروف النشـــأة الأولى ، وكلها يمـــكن أن تتماشى مع ما وصل اليه الكون من ظروف حالية ، وسوف نعود الى مناقشة تلك المسألة مرة ثانية فى الباب السابع ·

وقد طرحت عدة تصورات لآلية امتصاص الفوضى ، منها على سبيل المثال اللزوجة التى تكتسبها النيوترينات فى حالات الكثافة الفائقـة · وثمة تصور آخر يميل اليه بشدة علماء الكونيات الروس ويتمثل فى عملية تكون الجسيمات · وقد ناقشنا من قبل ، فى القسم (٤ ــ ٤) ،

كيف يمكن أن تتكون الثنائيات من الجسيمات والجسيمات المضادة لو توفرت كمية من الطاقة تعادل (٢ ك ض٢) ٠ ويمكن أن تستمد هذه الطاقة من التاثيرات المدية في مجال الجاذبية ٠ وتتيح هذه الآلية الفرصة لتكون ثنائيات الجسيمات والجسيمات المضادة من المكان الخالى المنحنى ذاته ٠ ويأتي رد الفعل الذى يتعرض له المكان نتيجة لعملية التكون ، فى صورة تخفيف وتسطيح للانحناءات ٠ وكلما كانت البنية الهندسية للمكان بعيدة عن الاستواء الذى يتسم به نموذج مينكوفسكى ، كانت عملية انتاج الجسيمات أكثر نشاطا ، وذلك يعنى أن الكون الذى كان يموج فى بداية تكونه بالحركة العشوائية للجسيمات ، قد شهد نتيجة لذلك عملية انتاج غزيرة للجسيمات كان من شأنها أن عملت على اضفاء الاستواء على الأشياء فى الاتجاه الذى أوصلها الى ما تتسم به الآن من انتظام ٠ بل من الوارد أن تكون كل المادة فى الكون قد نشأت بهذه الطريقة بدلا من الفذاذة ٠ ولو نحينا جانبا الجدل حول انتهاك قوانين الاحتفاظ « ببطاقة الهوية » فى لحظة الفذاذة الأولى ، فسوف نلاحظ أن هذه الطريقة الأخيرة من شأنها أن تسفر عن تكون المادة المضادة بنفس مقدار المادة ، ولا يمثل ذلك مشكلة لو أمكن اكتشاف آلية تعمل على فصل المادة من المادة المضادة وبالتالى تمنع نسبة كبيرة منها من أن يلاشى بعضها بعضا ٠ وقد زعم الفيزيائى الفرنسى ر ٠ أومنيه R. Omnés على مدى سنوات بوجود مثل هذه الآلية ، مستندا فى ذلك الى بعض الاعتبارات المستمدة من فيزياء الجسيمات الأولية ٠ ومن شأن مثل هذا الفصل أن يؤدى الى تكون بعض المجرات من المادة ومجرات أخرى من المادة المضادة — وذلك تنظيم كونى آمن تماما لأن المجرات نادرا ما تتصادم ٠ وانه لمن دواعى الحكمة بالنسبة لرائد فضاء مغامر ، أن يتأكد قبل انطلاقه الى مجرة أخرى ما اذا كانت هذه المجرة مكونة من نفس مادة مجرته أم لا ٠ وعلى أى الأحوال وحتى ظهور نظريات أخرى تلقى مزيدا من الضوء على هذه الموضوعات وتبين الى أى مدى يمكن التعويل على سلامتها ، علينا أن نختار بين احتمالين لأسلوب نشأة الكون : فاما كان هناك تناظر بين المادة والمادة المضادة مع وجود حالة فوضوية أولية ، أو كان التناظر متمثلا فى بداية مستوية سلسة مع عدم توازن المادة ٠

وقد يبدو للوهلة الأولى أن انطلاق عملية التكون فى ظل انتظام تام قد يوحى بعدم حدوث الفذاذة الأولية من الأصل ٠ فمن شأن هذه الفذاذة ، وفقا لنموذج فريدمان ، أن تحدث أينما تجمعت كل المادة مع بعضها فى نقطة واحدة ٠ ولو اتسمت الحركة بقدر فائق من العشوائية ، فقد يتبدد احتمال حدوث مثل هذا التجمع ٠ غير أن جورج اليس George Ellis

وستيفان هوكينج (Stephen Hawking) أثبتا بأسلوب رياضي باهر، يقوم على بعض الافتراضات المنطقية المقبونه تماما بشأن مسلك المادة في ظل الكثافة الفائقة ، أنه لا مجال لتلافي حدوث فذاذة واحـــدة على الأقل في الكون ، حتى لو جاء ذلك نتيجة ما يمكن أن يحدث من خروج على الانتظام التام • ولا توفر النظرية أية معلومة بشأن طبيعة الفذاذة ، أو بشـــأن حالة الكون على مقربة منها ، فيما عدا أن أى جسيم يصطدم بها سينتهي وجوده في المكان - الزمان الخاص بنا • وتفيد دراســة بعض النماذج غير المنتظمة وغير المتناظـــرة بأن مسلك الكون ، في الماضي البعيـــد ، على مقربة من الفذاذة قد يكون بالغ التعقيد ، على النقيض تماما من التقدم التمددى السلس الذى تتسم به نماذج فريدمان •

ورغم أنه ليس من شـــان حالات الخروج على الانتظام أن تخلص كوننا من احتمال حدوث فذاذة في موقع ما من المكان - الزمان ، فقد يحدث الا « تصادف » معظم المادة في الكون هذه الفذاذة ، بحيث انه رغم عمل المكان - الزمان على تكوين « حافة » له ، لايحدث بالضرورة ان تصطدم بها معظم المادة الموجودة في الكون • وتتسم الانفجارات من هذا القبيل بتدفق المادة من المحيط القريب من الفذاذة ، بدرجة كثافة فائقة للغاية ، ولكنها ليست لانهائية • وتسمى مثل هذه الانفجارات (Whimpers)

غير انه مازال ثمة احتمال لخرق نظرية هوكينج - أليس ، لو ابتعد كثيرا مسلك المادة عند درجات الكثافة الفائقة للغاية ، عن التوقعات العامة• ومع ذلك ، فليس معروفا ما اذا كان من الوارد حدوث ضغط سالب أو طاقة سالبة عند مرحلة ما ، وان كانت المسألة برمتها مستبعدة • واذا كانت بعض الخصائص الكمية للمادة تسمح في الواقع بتكون ضغوط سالبة في بعض الحالات (وان كانت حالات مستنبطة) ، فان النماذج الكونية الحالية من الفذاذات وفقا لهذا الترتيب ، تعد بعيدة تماما عن الكون الحقيقي

وعلى مستوى أعمق ، قد يكون من شان التأثيرات الكمية للمكان - الزمان (مثل الجاذبية الكمية) ، بخلاف التأثيرات الكمية للمادة ، أن تحول دون تمدد الكون عند الفذاذة ، وذلك بأن تعمل على ســـبيل المثال على أن « يرتد » الكون عند درجة كثافة عالية بالقدر الملائم • وقد سبق أن أشرنا في الباب الرابع الى أنه ليست هناك حتى الآن نظرية مرضية بشأن الجاذبية الكمية ، ولذلك يبقى هذا الاحتمال مجرد تكهن •

ولو صح أن معظم المادة في الكون لم تصادف الفذاذة ، أو كان هناك ارتداد كمي بشكل ما ، فمن الطبيعي ان يثار السؤال التالي : ما هي حالة

الكون « قبل » حدوث الارتداد ؟ وتأتي الاجابة من منطلق التناظر الزمني الذي تتسم به نظرية النسبية العامة ، وهي أن حركة الكون على النطاق الواسع ستكون في هذه المرحلة السابقة على الارتداد عكس ما هي عليه في المرحلة الحالية ٠ وهذا يعني ان الكون كان في حالة انكماش قبل مرحلة التمدد الحالية ٠ وعلى مستوى أدنى ، فمن الوارد أن تكون تلك المرحلة السابقة المزعومة تتسم بوجود مجرات ونجوم وأجرام فلكية أخرى ؛ وان كان كل ذلك مجرد تكهنات ٠ وسوف نتناول في الباب القادم المفاهيم الأوسع نطاقا لهذه النماذج ٠

وبما أن معظم علماء الكونيات ، في وقت تأليف هذا الكتاب ، كانوا متقبلين فيما يبدو فكرة الفذاذة التي طرحها فريدمان كوصف لعملية الخلق الأول في الكون الحقيقي ، يجدر بنا أن نناقش في ايجاز مسألة ما اذا كان من الوارد أن يهيىء الكون لنفسه مرة أخرى « ظروف خلق » مماثلة للمرة الأولى ٠ وقد سبق أن شبهنا الفذاذة الأولى بتلك التي تحدث في جوف الثقب الأسود٠غير أن ذلك ليس صحيحا الا في جزء منه فقط ٠ ويمثل الانفجار العظيم في الواقع معكوسا زمنيا للثقب الأسود٠ففي الحالة الأولى تنفجر المادة وتتدفق خارج الفذاذة ، أما في الحالة الثانية فهي تنقبض الى داخل الفذاذة ، وأكثر من ذلك ، فان حافة الأفق التي تحيط بكافة المناطق في الانفجار العظيم تعد المعكوس الزمني لحافة الأفق المحيطة بالثقب الأسود ، ولذلك فاذا كانت الفذاذة التي تحدث في مركز الثقب الأسود لايمكن أن نراها من الخارج فان الفذاذة التي تحدث في بداية التمدد الكوني تعد « عارية » ، وهذا يعني من حيث المبدأ أنه بوسعنا أن ننظر الى داخل الكون وأن نعود زمنيا الى الوراء (بسبب زمن رحلة انتقال الضوء) لنرى عملية الخلق ٠

غير أنه لا يمكن في الواقع أن نرى بالراجع الى ما قبل نحو ١٠^٥ سنة من بداية التمدد لأن المواد الكونية قبل ذلك التاريخ كانت غير منفذة للاشعاعات ، وبالتالي لايمكن رؤيتها ٠ ومع ذلك يظل المبدأ المهم يتمثل في أن الكون هو منطقة من المكان ـ الزمان تقع في المستقبل السببي للفذاذة بحيث انه لايمكن بأي حال التنبؤ بطبيعة الكون ٠ ولايمكن لأحد أن يتكهن ، ولا حتى من حيث المبدأ ، بما يمكن ان تسفر عنه الفذاذة ٠ ويتلاءم ذلك مع ما هو مفهوم بشأن عدم التناظر الزمني في الكون والذي يفيد بشكل ما (انظر الباب السادس) بأن الكون قد بدأ بطريقة عشوائية ٠

٥ ـ ٤ الانفجـــار العظيم

وبغض النظر عن الظروف الخاصـــة المتعلقة بالمراحل المبكرة الأولى للتمدد ، تظل نماذج فريدمان هي الأساس الذي يعتمد عليه معظم علماء الكونيات في دراسة الكون • ولو تقبلنا الآن بصفة مؤقتة أن (م = صفر) تمثل أحد البدائل البسيطة المقترحة لعملية الخلق الأولى ، فسنجد أنه بوسعنا أن ندرس بقدر كبير من التفاصيل الأحداث التي شهدها الكون (وفقا لنماذج فريدمان) في هذه المراحـــل الأولى من التمدد • ومازالت بعض توابع هذه الأحداث تتجلى حتى الآن في الكون ويمـــكن رصدها ، وبالتالي يمكن تمحيص هذا النموذج البسيط باستخدام المعلومات المستقاة من الشواهد المختلفة واختبـــار مدى تلاؤمه مع المنطق • وقد تبين أن نموذج فريدمان يتسم بدرجة كبيرة من المعقوليـــة رغم ما يتصف به من بســـاطة •

ورغم أنه لايمكن تطبيق الفيزياء المعروفة على اللحظات الأولى لنشأة الكون ، أو حتى قبل تكون الجاذبية الكمية عند ١٠ - ٤٣ ثانية ، فبوسعنا أن نبني نموذجا للكون بعد الميكروثانية الأولى أو نحو ذلك بحيث يمكن وصفه بالنظريات المعروفة ، بقدر معقول من الاطمئنـــان • أما اللحظـــات المبكرة للغاية التي يقل فيها عمر الكون عن الثانية الواحدة فمن المستبعد تماما تكوين رأي يعتد به بشأن الحالة الكونية فيها •

ومن شأن محتويات الكون ، مثلها في ذلك مثل أية منظومة طبيعية ، أن تسخن اذا تعرضت للانضغاط وأن تبرد مع التمدد • ومن ثم يمكن اعتبار الزحزحة الحمراء الشهيرة لموجات الضوء ، التي اكتشفها هوبل ، مؤشرا على انخفاض درجة حرارة الضوء نتيجة للتمدد الكوني ، وهذا يعني أن درجة حرارة الكون في المراحل المبكرة للانفجار العظيم كانت بالغة بسبب الانضغاط الضخم • ولذلك ، عادة ما يطلق على محتويات الكون خلال هذا الوقت اسم « كرة اللهب الأولية » (primeval fireball) .

ومن غير الوارد أن يكون أي من التكوينات التي نراها في الكون حاليا ، مثل النجوم والمجرات ، قد وجد في كرة اللهب الأولية • بل حتى الذرات ما كانت لتتحمل مثل هذه الظروف ولتفتتت تحت تأثير الضغوط ودرجات الحرارة الفائقة • وقد نتصور كرة اللهب في المراحل المبكرة الأولى على هيئة سائل يتكون من خليط من كافة أنواع الجسيمات الأوليه المتفاعلة بشدة فيما بينها في ظل توازن حراري •

ويبدي بعض علماء الكونيات قدرا من التحفظ ازاء مناقشة حالة كرة اللهب في المراحل المبكرة عن الميكروثانية ، ولكننا سنبدأ من هذا الوقت الذي كانت درجة الحرارة فيه تناهز مليون مليون درجة • ورغم أن الجزء من المليون من الثانية قد لايشكل شـيئا يذكر في العرف البشري فانه يمثل زمنا طويلا للغاية بمقياس علم فيزياء الجسيمات الأولية • ولا شك أن تلك اللحظـات الخاطفة الأولى المتسـمة بالنشـاط العنيف قد شهدت برنامجا حافلا في خضم التفاعلات بين شتى الأنواع المختلفة من الجسيمات، والتي مازال بعضها يشكل لغزا على المستوى المعملي • ومازال الكثير من المعلومات المتعلقة بفيزياء الجسيمات الأولية في هذه المراحل المبكرة ، غامضة • ولكن بنهاية أول جزء من ألف من الثانية في عمر الكون نحسب أن معظم الجسيمات المألوفة تكون قد تلاشت منذ وقت طويل (نسبيا بالطبع) نتيجـة التفتت والاضمحلال • انها لحظـات مارقة مذهلة جليلة ، يمتلئ فيها الكون بالبلايين تلو البلايين من الجسيمات الغريبة ، ثم لا تلبث أن تختفي ، وربما لم يعد بعضها للظهور في الكون مرة أخرى !

ومع تناقص درجـة الحرارة سريعا من ١٢١٠ درجـة ، تدخل كرة اللهب ما يسمى بعصر الليبتون Lepton era ، ليبدأ تكون الجسيمات المألوفة مثل البروتونات والنترونات والالكترونات وأيضـا الموونات والنيوترينات والأشعة الكهرومغناطيسية (على هيئة فوتونات أشعة جاما) ، وكلها مختلطة ببعضها في حالة توازن • وكانت درجة حرارة الاشعاع عالية لدرجة أن الفرصـة كانت مهيـأة لتـكون ثنائيـات من الالكترونات / البوزيترونات • ولما انخفضت درجة الحرارة اختفت الموونات أولا ، وتلتها البوزيترونات • وبعـد مضي نحو عشر ثوان تناقصت درجة الحرارة الى بضـعة بلايين درجة وأصبح الجانب الأعظم من الجسـيمات يتكون من البروتونات والنترونات والالكترونات المتبقية •

وتشهد هذه المرحلة بداية عصر جديد مهم ، يطلق عليه اسم عصر البلازما (Plasme era) • وتتسم هذه المرحلة بانخفاض درجة الحرارة بقدر يتيح للنترونات والبروتونات المتحركة بعنف بالغ ان تبدأ في الاتحاد لتكون نواة الهليوم وبعض نوى الضوء الأخـرى • وتفيـد الحسابات التفصيلية بأن نحو ربع عدد البروتونات يشترك في تكوين نوى الهليوم مع نسبة بالغة الضآلة من الايتريوم والليثيوم • ومن ثم يكون الهيليوم نسبة تناهز ١٠٪ من النوى المنحدرة من كرة اللهب ويظل الباقي نوى هيدورجين (بروتون واحد) • ويقترب هذا التوزيع بدرجـة كبيرة من الوضع الحالي الذي تغزر فيه هذه العناصر الخفيفة ، وهو ما يبعث بشدة

على الربط بين كرة اللهب الأولية وواحد من « مصانع » انتــاج العناصر المشار اليها في القسم (٥ ـ ١) • ولقد كان من قبيل التأكيد الرائع أن مجريات الأمور في عصر البلازما في الكون الحقيقي لم تكن بعيدة عما يمكن استنتاجه من نموذج كرة اللهب في الكون الذي رسمه فريدمان •

وقد استمر عصر البلازما لنحو سبعمائة ألف سنة انخفضت خلالها درجة الحرارة الى نحو أربعة آلاف درجة (أي أقل قليلا من درجة حرارة سطح الشمس) ، وبدأت الالكترونات تتحد مع النــوى لتكون الذرات العادية ، وبعد ذلك صار الطريق واضحا لحدوث عمليات التكثف المحلية للمادة تحت تأثير الجاذبية ، حيث انفصلت كتل من الغاز في حركة دورانية لتكون مجمــوعات ، وتقلصت تلك المجموعات ببطء لتكون المجرات ثم بعد ذلك النجوم والكواكب •

واستمر انخفاض حرارة كرة اللهب منذ ذلك الحين بسبب استمرار التمدد الكوني ، حتى وصلت الآن ، وبعد مضي حوالي عشرة بلايين سنة ، الى زهاء ثلاث درجات فوق الصفر المطلق ـ وهي قيمة تقل عن درجة حرارة الغاز السائل • ولاشك أن رصد هذا الوهج الضعيف المتضائل لكرة اللهب الأوليــة ، والذي توصــل اليه الأمريكيان أرنوبنزياس **Arnopenzies** وروبرت ولسون Robert wilson في عام ١٩٦٥ ، ليعد من الاكتشافات العلمية الكبرى • ويعرف هذا الوهج باسم الخلفية الاشعاعية الكونية وقد انتقلت هذه « الحفرية » للنشأة الملتهبة للكون عبر الفضاء بلا عائق تقريبا منذ انتهاء عصر البلازما ، فقد كانت تقرع الأرض بصفة مستمرة من شتى أرجاء السماء • ويبعث وجود هذه الحفرية ثقة كبيرة في سلامة الأفكار العامة المتعلقة بالنموذج المتفق عليه للانفجار العظيم ، وبأن الكون كان بالغ الكثافة وقت وقوع الانفجار منذ زهاء عشرة بلايين سنة •

٥ ـ ٥ الأفكار غير التقليدية بشأن علم الكونيات

ولقد استندنا في كل ما أوردناه حتى الآن من مناقشة في هذا الكتاب بشأن نشأة الكون الى نماذج فريدمان الثلاثة الموضحة في الشكل (٥ـ٥)، ربما مع بعض الاختلافات الكبيرة في المراحل المبكرة للغاية • ويعزى ذلك الى أن هذا هو الرأي السائد على نطاق واسع بين علمــاء الفلك وعلمــاء الكونيات وقت كتابة هذا الكتاب • غير أن جانبا كبيرا من البيانات القائمة على المشاهدات الفلكية يتسم بطبيعة تجريبية وغالبا ما تكون منقوصة ، ولذلك فقد حدثت في الماضي انقلابات ضخمة في الآراء ، وقد يتكرر ذلك بالطبع •

وتطرح بين الحين والحين نماذج أخرى للكون تختلف اختلافا جذريا عن نموذج الانفجار العظيم • ويقوم العديد من هذه الصور البديلة للكون اما على تعديل لنظرية اينشتين للنسبية العامة أو التخلى عنها تماما والاستعاضة عنها اما بنظرية مختلفة للجاذبية أو بمجموعة كاملة من المبادىء الجديدة • وتعد نظرية الاستقرار واحدة من هذه البدائل ، وقد كان لها وقع كبير على علم الكونيات لبضع سنوات • ولا تتضمن هذه النظرية حدثا من قبيل الانفجار العظيم ، ولذلك فهى تصطدم ببعض الدلائل من قبيل وجود الخلفية الاشعاعية الكونية ، وأن الكون كان فى وقت ما فى الماضى كثيفا وساخنا ، وسوف نناقش فى الباب التالى المقتضيات التى تفرضها نظرية الاستقرار على طبيعة الزمان •

ومن بين البدائل العديدة للنماذج غير التقليدية التى تقر بوجود انفجار عظيم ، ربما كانت هناك فئتان فقط تستحقان الذكر : تقوم الفئة الأولى على ادخال عامل طرد كونى اضافى على معادلات اينشتين للنسبية العامة ، أما الفئة الثانية فتفترض أن معامل عجلة الجاذبية الثابت (جـ) يتغير مع الزمان • وقد أشرنا فى القسم (٥ ـ ٣) الى أن اينشتين كان قد اقترح ادخال تعديل على مجموعة المعادلات الأصلية للنسبية العامة ، من أجل بناء نموذج كونى يتسم بالاستقرار ، وذلك لأن هوبل لم يكن قد اكتشف بعد أن الكون فى حالة تمدد • ورغم أن المعادلات المعدلة كانت صالحة تماما لبيان الوصف الصحيح للجاذبية ، كان لوجود هذا العامل الاضافى بعض النتائج الغريبة بل وغير المرضية على نحو ما يراها بعض علماء الكونيات ، ويتمثل التأثير الطبيعى للعامل الجديد المعنى ، فى قوة طرد كونية موجودة فى كافة الأنحاء • وكان الأسلوب الذى لجأ اليه أينشتين لبناء نموذج مستقر للكون هو الموازنة بين هذا التأثير وقوة الجاذبية المنبعثة من المادة • غير أن هذا الميزان الدقيق يتسم فى الواقع بعدم الاستقرار ، بحيث ان أى خلل بسيط فى التوازن سيؤدى اما الى الانقباض أو الى التمدد غير المحدود •

وثمة نماذج عديدة تتسم بالتجانس والتماثل فى خصائصها ، وتتضمن مثل هذا التنافر الكونى الذى يؤول فى نهاية الأمر الى ذلك النوع من التمدد غير المحدود • ولما كانت قوة التنافر بين نقطتين تتصاعد فى الواقع كلما ازدادت المسافة بينهما ، فمن شأن التمدد أن يعمل على مضاعفة هذا التنافر • وبالتالى نجد الكون يتمدد بمعدل تصاعدى على عكس ما هو وارد فى الشكل (٥ ـ ٥) • وقد اقترح عالم الفلك الهولندى وليام دى ستير William de Sitter (١٨٧٢ ـ ١٩٣٤) واحدا من مثل هذه

النماذج التى تتمدد بشكل تصاعدى ، غير أنه كان نموذجا خاليا تماما من أية مادة ، مجرد فضاء فراغ متمدد !!

وتتسم بعض النماذج الأخرى (وليس كلها) ، التى تفترض وجود قوة تنافر كونية ، بأن التمدد يبدأ عند نقطة انطلاق أولية (م = صفر)، مما يجعلها مرشحة لحدوث انفجار عظيم . ونذكر منها على وجه الخصوص نموذج ادينجتون ــ لوميتر (نسبة الى سير آرثر ادينجتون ورجل الدين البلجيكى جورج لوميتر Georges Lemaitre) الذى يتسم بنوع من المسلك يكتسى قدرا كبيرا من الأهمية ، يبدأ هذا النموذج بالتمدد بنفس الطريقة العامة مثل نماذج فريدمان النمطية ، مع معــدل تباطؤ ناجم عن تأثير الجاذبية المنبعثة من المادة ، ومع الوقت يتغلب التنافــر الكونى على قوة الجاذبية وينطلق التمدد الكونى التصاعدى بلا حدود ، ولكن خلال الفترة التى يتعادل فيها التأثيران يبقى الكون فى حالة تقترب من الاستقرار . يمكن أن تطول هذه الفترة كيفما يشاء المرء وذلك عن طريق اختيار قيمة لقوة التنافر الكونى تقترب من تلك التى اختارها اينشتين لبناء نموذج الكون المستقر . وقد أعيد طرح نموذج ادينجتون ــ لوميتر منذ عدة سنوات فى محاولة لايجاد تفسير للغزارة الفائقة التى ظهرت بهــا الأجســام الغريبة المعروفة باسم الكازار (quasars) والتى صاحبتها زحزحة حمــراء عاليـــة .

وفى عام ١٩٣٧ طرح بول ديراك الفيزيائى البريطانى الشهير الحاصل على جائزة نوبل ، فكرا مختلفا تمام الاختلاف بشأن نشأة الكون . فقد استرعى انتباه ديراك ، شأنه فى ذلك شأن عالم الفلك سير آرثر ادينجتون، ما يبــدو من تطــابق متمثل فى أن الكون يفوق فى حجمه عن الالكترون بنفس النسبة الضخمة التى تزيد بها الكهرباء على الجاذبية من حيث الشدة (ويصل هذا الرقم الى زهاء ١٠^٤٠ بالنسبة للالكترونات) . غير أن حجم الكون يتزايد بشكل مستمر ، على نحو ما أوضحنا فى القسم (٥ ــ ٥) وبالتالى يبدو هذا التطابق عارضا ويعزى الى تصادف وجودنا فى هذا الوقت بالذات دون غــيره . وســوف نورد فى القســم (٧ ــ ٣) تفســيرا لهذه المصادفة . ولكن ديراك لم ينظر الى العــلاقة بين الكميتين كمصــادفة عارضة ، بل انه افترض أنها علاقة مستمرة فى كل العصور والأزمان ، ومن بين السبل التى تكفل ذلك هو أن تتضاءل قوة الجاذبية مع الوقت . ويقودنا ذلك الى كون يشبه النموذج الثانى لفريدمان ولكن بمعدل تمدد مضاعف (ومن ثم فهو أقدر على الافلات من الجاذبية) ، وبالتالى يقل عمر هذا الكون الى نصف عمر نموذج فريدمان ، مما يفجر مشكلة زمنيـــة ،

لأننا لو سلمنا بمعدل التمدد الحالى فهذا يعنى أن نموذج ديراك يقضى بأن عمر الكون يقل عن عشرة بلايين سنه ، بينما تفيد كل تقديرات وقياسات التطور بأن المجرة كانت موجودة قبل عشرة بلايين سنة على الأقل ، ومع ذلك فقد قام باسكوال جوردان (Pascual Jordan) وفيما بعد كاول برانز Carl Brans وروبرت ديك Robert Dicke بتطوير فكرة ديراك وتحويلها الى نظرية كاملة مازالت تشكل منافسة لنظرية اينشتين .

وانطلاقا من نظرية أخرى مختلفة تماما توصل عالم الفلك البريطانى فريد هويل Fred Hoyle وزميله الهندى جايانت نارليكار Jahant Narlikar الى نظرية للجاذبية على درجة كبيرة من التماثل مع سابقتها وتتسم بأن عجلة الجاذبية ترتهن أيضا بالزمان وبأن كتلة الجسيمات تستنتج من التفاعل مع المادة البعيدة ، بنفس أسلوب ماخ . علاوة على ذلك فقد أدخل ديراك ذاته مؤخرا ، وهو يناهز الخامسة والسبعين من عمره ، تعديلات على الأفكار التى كان قد طرحها فى عام ١٩٣٧ وحولها الى نظرية كاملة من قبيل نظرية برانز — ديك ، وتوصل بذلك الى نتائج مختلفة عما حققه فى أعماله السابقة . وتتعرض كل هذه النظريات للتمحيص نتيجة ما يتحقق من مشاهدات فى المجموعة الشمسية ومن قياسات لحركة الكواكب ، والتى قد يتعين ادخال تعديل طفيف عليها فى حالة تبين تناقص معامل الجاذبية بمعدل بطىء . ومن المتوقع أن تسفر المشاهدات الجارية على مدى السنوات القليلة القادمة عن كشف أى تغير ملموس فى قيمة عجلة الجاذبية (ج) .

الباب السادس

البــدايـة والنهــايــة

٦ ـ ١ الكون غير المستقر

وقد أوضحنا فى الباب الثالث أن قوانين الفيزياء لا تميز بين اتجاهات الزمن ، واذا كان عدم التناظر الزمنى يعد من السمات البارزة فى حياتنا اليومية ، حيث يتجلى فى عدد كبير من الظواهر المختلفة مثل مسلك الغازات وتبدد الحرارة وإنتشار الموجات ، فلا مجال لأن يعزى الى أى من الخصائص الأصيلة للمنظومة المعنية ۰ وبفضل الأسلوب العشوائى فى تكون المنظومات الفرعية ، فان عدم التناظر الزمنى يفرض فى جميع الأحوال من خارج المناطق شبه المعزولة فى الكون والتى تنفصل عن البيئة الأساسية فى ظل حالة من عدم التوازن ۰

وتفيد الدراسة المتأنية بأن معظم المنظومات الفرعية تنتمى الى سلسلة هرمية ما ، ويعد مثال مكعب الثلج المشار اليه فى القسم (٣ ـ ١) تجسيدا جيدا لذلك ۰ فعندما يوضع مكعب من الثلج فى كوب به ماء فى درجة الغليان ، تتكون بذلك منظومة فرعية وينشأ عدم تناظر زمنى لأن حالة الانتروبيا المنخفضة لمحتويات الكوب ستتحول ، على أرجح الاحتمالات ، الى حالة من التوازن نتيجة تكون مياه دافئة منتظمة الحرارة ؛ لقد نشأ عدم التناظر الزمنى وفرض على المنظومة بسبب ذات العامل الذى أوجده ، أى بسبب عشوائية عملية التكون وليس لأنها وقعت فى بداية عملية تذبذب بالغة الندرة ۰ والسؤال الآن هو كيف تحقق عدم التوازن الذى أتاح أصلا تكون عنصرى محتوى الكوب بدرجتى حرارة مختلفتين ؟ وقد تكون الإجابة فى هذه الحالة هى « الثلاجة » ، والثلاجة هنا تعد بمثابة منظومة فرعية تستهلك طاقة لتبقى على الدوام فى حالة عدم توازن ۰ وتعد عملية التغذية بالطاقة هى الأخرى منظومة فرعية للسبب التالى : يقتضى توليد الطاقة وجود عملية احتراق لنوع ما من الوقود (زيت أو فحم على سبيل المثال) ۰ وتتكون بذلك منظومة تتسم بدرجة عنيفة من عدم التوازن ولكن سرعان ما تتحول هذه المنظومة الى التوازن بسبب الاحتراق ۰ ويرتهن عدم توازن الوقود بالأسلوب الذى تكون به هذا الوقود أصلا ، فالوقود الحفرى على سبيل المثال مصدره بيولوجى ۰ وتتسم كل المنظومات

الفرعية البيولوجية بأنها تعمل في ظل حالة من عدم التوازن الشديد ، وتعتمد في بقاء هذه الحالة على ضوء الشمس وحرارتها ولا شيء غير ذلك . وهذا يعني ان الشمس لو انطفأت فسوف تتوقف كل صـــور الحياة على الأرض .

وترتهن كذلك طاقة الرياح وطاقة الموجـــات على الاشعاع الشمسى دون غيره ، حيث يرجع مصدرهما الى عدم التوازن الذى يتسم به الغلاف الجوى للأرض ، والناجم عن التوزيع غير المنتظم للأشـــعة الساقطة على سطح الأرض . ولو تفكر المرء قليلا فسوف يكتشف أن معظم حالات عدم التناظر الزمنى على الأرض مصدرها هو عدم توازن « الضوء الشمسى » هذا ، ومن أمثلة تلك الحالات : الأنشطة البيولوجية كلها والموت ودوبان الثلوج والعواصف الكهربية والتيارات المائية فى المحيطات .

غير أن هناك بعض ظواهر عدم التناظـر التى لاتعزى الى الضـــوء الشمسى وحده ، مثل ظواهر ثـورة البراكين والمد والجزر وكلهـا تأتى (الى حد ما على الأقل) نتيجة « اعادة ترتيب » فى تأثير الجاذبية . علاوة على ذلك ، تتسم شتى أنواع العناصر المشعة بأنها فى حالة عدم توازن بين . ويكتسى مصدرها قدرا من الأهمية وسوف نتناوله الآن بالمناقشة بشىء من التفصيل .

وقد تحدثنا فى القسم (٥ ــ ١) عن وجود مصنع كونى لانتـاج النوى الذرية المعقدة . ومن الصور المقترحة لمثل هذا المصنع كرة اللهب الموجودة فى الانفجار العظيم ، غير أن الحسابات اظهرت أن نسبة انتاج العناصر الثقيلة بهذه الطريقة لا تتناسب مع ما نراه حاليا من نسب غزيرة لهذه العناصر ، ولما كان من المستبعد أن تكون النوى المعقدة قد تكونت فى وقت الانفجار العظيم ، فلابد أنها نشأت بعد ذلك فى مكان ما ، فأين يقع هذا المكان ؟ ومن الأماكن المقترحة لهذه المهمة ما أشرنا اليه آنفا وهو جوف النجوم ، حيث تكون عملية بناء العناصر مسئولة عن عملية تحرير الطاقة التى توفر الضوء النجمى . وثمة اعتقاد سائد حاليا بصفة عامة بأن النجوم الثقيلة تمثل المصنع الرئيسى لانتـــاج العناصر المعقـدة ، ويتم السيناريو بصورة تقريبية على النحو التـــالى : تبـــدأ النجوم عادة من الهيدروجين حيث تتم تدريجا عملية اندماج لذرات هذا الغاز لتتكون ذرات الهليوم وذلك خلال مرحلة اسـتقرار هادئة (وتعد شمسنا حاليـــا فى منتصف هذه المرحلة) ، ومع الوقت ترتفع درجة حرارة الهليوم بدرجة كافية تتيح بناء عناصر أكثر تعقيدا (وبصفة أساســـية الكربـون) ، وتستمر هذه العملية بشكل تصاعدى وكلما انتقلت العناصر من مرحلة

لمرحلة ازداد تعقيد بنيتها • وتتسم تفاصيل هذه السلسلة من التفاعلات بأنها بالغة التعقيد وهى تدخل فى اختصاص علم الفيزياء النووية ، ومع مرور الوقت تتكون فى هذه النجوم نسبة صغيرة من العناصر الثقيلة ، وتعد العناصر الأكثر ثقلا (مثل اليورانيوم) بمثابة « خسارة » فى طاقة النجم لأن نوى هذه العناصر تحرر الطاقة اذا تعرضت للانشطار ، بخلاف العناصر الخفيفة التى تولد الطاقة خلال عملية عكسية هى عملية الاندماج •

والسؤال المطروح الآن هو كيف يتسنى خروج هذه العناصر الثقيلة الى المناطق المحيطة في المجرة ؟ ، ومن الآليات المشهودة فى هذا المجال تبرز الانفجارات السوبرنوفا Supernova ، وهى انفجارات مروعة جبارة تفتت الجانب الأعظم من النجم وتعصف بمحتوياته وتحرر مقدارا من الطاقة يصل الى ملايين مثل المعدل المنتظم المنبعث من النجم على هيئة ضوء • ولحسن الطالع ، فان مثل هذه الأحداث تعد بالغة الندرة ، ويعتقد أن أحد هذه الانفجارات السوبرنوفا وقع ـ فيما مضى فى مجرتنا ورصده علماء الفلك الصينيون فى عام ١٠٥٤ على هيئة نجم يسطع بنفس درجة بريق كوكب مثل الزهرة Venus وقد بدأ هذا البريق الساطع يخبو بعد بضعة أيام • أما ما تبقى من هذا النجم حاليا فهو جسم غير منتظم الشكل يطلق عليه اسم سديم العقرب (Crab nebula) ، ويتكون من كتلة من الغاز تندفع بسرعة فائقة من جسم صغير يقع بالقرب من مركز السديم ، ويعتقد أنه نجم نترونى •

وبما أن مثل هذه النجوم المندثرة قد لفظت عناصرها الثقيلة بهذه الطريقة وعصفت بها الى المجرة ، فانها تكون بذلك قد زودت هذه البيئة بكميات طفيفة من المادة التى تدخل بعد ذلك فى تكوين جيل جديد من النجوم الغنية بهذه العناصر الجديدة ، وتتوالى المسألة من جيل الى جيل • ولا يزيد عمر شمسنا عن نصف عمر الكون أو أقل ، ولذلك فقد كانت هناك فسحة كبيرة من الوقت لحدوث مثل هذه الانفجارات ـ مهما كانت نادرة ـ وبالتالى لتزود المجرة بكل ما نراه حولنا من عناصر ثقيلة • وانه ليبعث على الدهشة أن الكربون (وهو من العناصر الأساسية للحياة الأرضية) الموجود فى الجسم البشرى ما هو الا الحطام الناجم عن النهاية العنيفة التى تعرضت لها أجيال سابقة من النجوم فى العصور الماضية

وفى اطار هذه الصورة لأسلوب تكون العناصر وتوزيعها فان عدم التوازن الذى تتسم به العناصر المشــعة على الأرض ـ والذى يؤدى الى تحرير بعض الطاقة المستخدمة فى توليد ما نستخدمه من كهرباء ـ يعزى الى الظروف السائدة فى جوف النجوم الميتة منذ أمد بعيد • ومن ثم ، فان معظم عدم التوازن المحيط بنا والذى يتيح لبيئتنا أن تتغير مع الزمان ، يعزى وجــوده بطريقة أو باخــرى الى عملية تكون الشمس والنجــوم وتطورها • ويتكرر هذا الاطار برمته فى الكون كله • وبالتالى يعيش الكون فى ظل حالة من عدم الاستقرار ، مع وجود نطاقات شاسـعة من الفراغ البارد الذى تتخلله النجوم البيضاء الساخنة الموزعة بشكل عشــوائى • ومن شان محطات توليد الطاقة الضخمة هذه أن تبث بصفة مستمرة الضوء النجمى فى محاولة لاعادة التوازن وتحقيق الاتزان الحرارى •

ولقد أشرنا فى القسم (٥ – ١) الى عدم توازن الديناميكا الحرارية فى الكون والذى يتصــل بما يعرف باســم تناقض أولبرز • غير أن هذا التناقض ما أن يوجد له سبيلا للحل حتى يلوح تناقض آخر ، اذ كيف حدث أصلا أن اكتسى الكون هذه الحالة من عدم الاستقرار ؟ وهذا هو السؤال ذاته الذى واجهناه بالنسبة للمنظومات الفرعية ، غير أننا لانستطيع هذه المرة أن نتصل فى اجابتنا بالتدخلات الخارجية لأن الأمر يتعلق هنــا بالكون كله ، وبالتالى ليس هناك « شيء خارجى » يمكن أن « يتدخل » •

ويمكن بالطبع تقويض المســألة من أساسها بأن نزعم ببســاطة أن الكون نشأ بهذه الحــالة من عــدم التوازن منــذ اللحظة الأولى للانفجار العظيم ، بيد أن هذا الرد له سمتان داحضتان ، واحدة فلسفية والأخرى فيزيائية : أولا ، من مهام العلم والعلماء توفير التفســيرات لما تتســم به البيئة من سمات وخصائص ، والقول بأن الأمور هى على هذا الحال أو ذاك لأنها نشأت كذلك ، لا يشكل تفسيرا • وثانيا ، لأن هناك دلالات قوية مثل الاشعاع الحرارى الخلفى الكونى ، تفيد بأن الكون كان فى حــالة توازن حرارى فى وقت ما فى الماضى ، ولو كان ذلك حقيقيا ، فكيف نشأ ما نراه حاليا من عدم توازن ؟ كيف يمكن أن يتحول نظام كونى مستقر الى نظام غير مستقر ؟ نحن نعلم أن التــوازن مرتبط بالحد الأقصى من الانتروبيا أو عدم الانتظام ، فكيف يمكن أن يتحول كون يموج بالفوضى وعدم الانتظام الى كون مرتب منظم ، وفى الوقت الذى علمتنا فيه التجارب أن النظام قد يفسح المجال للفوضى ولكن العكس غير صحيح ؟

وللرد على هذا السؤال ينبغي أن نعود مرة أخرى الى المراحل الاولى المبكرة للتمدد وأن ندرس بدقة بعض العمليات الجارية فى كرة اللهب الأولى ٠

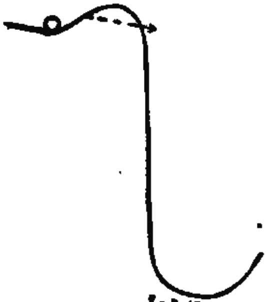
وينبغي أولا أن نفهم طبيعه عدم الاستقرار الكونى بمزيد من التفصيل : ينتج عدم الاستقرار هذا (فى جانب كبير منه على الأقل) من الضوء النجمى ٠ تعد عملية انشطار نوى العناصر الثقيلة فى جوف النجوم هى مصدر الطاقة الاشعاعية ٠ وعندما يندمج اثنان من نوى العناصر الخفيفة فان جانبا من الكتلة الاجمالية يتحول أيضا الى طاقة اشعاعية (وفقا لقانون اينشتين ط = ك ض٢) ، وتتسرب هذه الطاقة ببطء من خلال الطبقات الخارجية للنجم الى الفضاء ، وتمثل هذه العملية زيادة فى الانتروبيا لأن الطاقة التى كانت حبيسة النوى تحررت وانطلقت فى الفضاء ، ويعد ذلك بمثابة زيادة في الفوضى ٠ أما النوى المندمجة فقد اكتسبت بتخلصها من بعض الطاقة ، قدرا أكبر من الاستقرار ٠

ويعد مبدأ اكتساب قدر من الاستقرار عن طريق التخلص من بعض الطاقة مبدأ عاما الى حد كبير ٠ فلو درسنا حالة كرة موضوعة على قمة مرتفع (انظر الشكل ٦ ـ ١) ، فسنجد أنها تتسم بعدم الاستقرار ، فلو تعرضت لأية حركة طفيفة فسوف تنحدر الى أسفل ، مما يكسبها طاقة حركية على حساب طاقتها الكامنة الناجمة عن الجاذبية (ويمكن توضيحها بأنها الطاقة اللازمة لاعادتها الى قمة المرتفع) ، ومن شأن السرعة المكتسبة أن تجعل الكرة تعبر الوادى ثم تصعد على الجانب الآخر من المرتفع ، غير أنها ستفقد بعضا من طاقتها نتيجة الاحتكاك مع الأرض ومقاومة الهواء ، وستتحول هذه الطاقة المفقودة الى حرارة تتسرب الى البيئة المحيطة طبقا للقانون الثانى فى الديناميكا الحرارية ، مما يرفع الانتروبيا ، وهكذا ، ستفقد الكرة شيئا فشيئا طاقتها مع رواحها وغدوها حتى تستقر فى النهاية فى قاع الوادى ، وبالتالى ، فان ما كان لدى الكرة من طاقة على قمة المرتفع راح ثمنا لحالة الاستقرار التى اكتسبتها الكرة فى قاع الوادى ، لقد تحول النشاط المنظم للكرة الى نشاط غير منظم (على هيئة حرارة) تتمثل فى التحركات الذرية ، بما يتلاءم مع قانون زيادة الانتروبيا ٠



الشكل ٦ ـ ١ : عدم الأستقرار · تتسم الكرة الموضوعة اعلى المرتفع بعدم الاستقرار ، حيث ان اى خلل طفيف سيجعلها تنحدر تحت تاثير الجاذبية · ومع حركة الغدو والرواح سوف تفقد الكرة طاقتها (نتيجة الاحتكاك) الى ان تستقر فى قاع الوادى ·

ويمكن كذلك استخدام مثل الكرة لشرح مفهوم « شبه الاستقرار » (metastability) بصورة سهلة · فلو أن قمة المرتفع بها حفرة صغيرة (انظر الشكل ٦ـ٢) ووضعت الكرة فى هذه الحفرة فانها ستكتسب نوعا من الاستقرار المحلى لأنها لو تعرضت لخلل طفيف لن تخرج من الحفرة ، فلو تحركت قليلا الى أحد الأجناب فسوف تعود الى الاستقرار فى مكانها ، أما لو تعرضت لدفعة قوية فسوف تخرج من الحفرة ثم تنحدر الى أسفل المرتفع · ويقال للكرة فى الكفرة انها فى حالة « شبه مستقرة » ·



شكل ٦ـ٢

الشكل ٦ ـ ٢ شبه الإستقرار · تحتمى الكرة من الانحدار خلف ساتر صغير · ورغم انها فى حالة توازن ، الا انه استقرار نسبى ، لأنها لو تعرضت لدفعة قوية فسوف ترتفع فوق الساتر ثم تنحدر الى الوادى · وتقترب هذه الحالة من الوضع فى الفيزياء النووية حيث يمثل الساتر التنافر الكهربى بين البروتونات ، اما الوادى فهو يجسد ما تتسم به النواة من جاذبية قوية ولكنها قصيرة المدى · وبالتالى ، لو ان بروتونا اصطدم بالنواة بسرعة كافية فسوف يتغلب على الحاجز الكهربى (او يخترقه) ويسقط داخل النواة ، فاقدا طاقته على هيئة اشعة جاما ·

ولعلنا نستعيض الآن عن الكرة بنواة واحـدة من الذرات الخفيفة ، ولتكن على سبيل التدقيق نواة هيدروجين ، وعن جاذبية الأرض (التى تشـد الكرة الى أسفل المرتفع) بقوة الجاذبية الشديدة لأية نواة أخرى · والآن ، ماذا يحدث لو اقتربت النواتان من بعضهما بقدر كاف ؟ ان البروتون (نواة الهيدروجين) يريد أن « ينحدر » الى داخل النواة الجاذبة (الوادى) ، وربما كان له ما أراد لولا انه مشـحون كهربيـــا ، حيث تتعرض هذه الشحنة لمقاومة شديدة من جانب الشحنات المماثلة التي تحملهـــا كل البروتونات فى النواة الأخرى · ورغم أن قوة الجذب النووى تعد أشد من قوة التنافر الا أن مجال تأثيرها قصير للغاية ، ويواجه البروتون صعوبة بالغة فى الاقتراب بقدر يتيح له الدخول فى هذا المجال ومن ثم السقوط داخل النواة ، وبالتالى يعد البروتون فى حالة شبه استقرار لأنه ممنوع من السقوط داخل النواة بواسطة حاجز كهربى · ولو تعرض البروتون لدفعة ضعيفة فسوف يرتد ثانيا ، ولكن لو كانت الدفعة شديدة فسوف يتجاوز الحاجز ويسقط داخل النواة حيث « يندمج » مصدرا قدرا من الطاقة (على هيئة أشعة جاما) · ويلتصق البروتون بالنواة وينتهى به المآل الى حالة من الاستقرار فى قاع « الوادى » النووى ·

ولا يتسنى لذرات الهيدروجين فى البيئة الأرضية أن تجد فى كل مكان مصدر الطاقة القريب بدرجة كافيـــة من حركتها الحرارية والذى يمكنها من التغلب على الحاجز الكهربى · وبالتالى ، فرغم أن الهيدروجين يعد بالتأكيد شبه مستقر ، فانه يحتاج الى درجة حرارة ضخمة لكى تكتسب بروتوناته القدر الكافى من الطاقة الذى يتيح له التفاعل الاندماجى النووى· والواقع أن هذه العملية تلقى نوعا من « المســاعدة » عن طريق ميكانيكا الكم ، حيث ان من شأن البروتون أن يأتى « بخدعة اختفاء » لمدة وجيزة للغاية ولكنها تكفى لأن يعبر مسافة قصيرة يعود الى الظهـــور بعدها على الجانب الآخر من الحاجز ، وتعرف هذه العملية باسم « التأثير النفقى » (Tunnel effect) · وحتى مع الأخذ فى الاعتبـــار بالتأثير النفقى فان درجة الحرارة المطلوبة لكى يتحقق اندماج بروتونات الهيدروجين وتكون نواة الهليوم ، تقدر ببضعة ملايين درجة · (الواقع أن هذه العملية ليست عملية فردية ولكنها متعددة الأطراف ، حيث يقتضى الأمر أيضا اشتراك نترونين فيها) · ويبعث ذلك على أن نستنتج أن درجة الحرارة الجوفية فى نجوم مثل الشمس ، وهى فى مرحلة احتراق الهيدروجين ، تبلغ بضعة ملايين درجة مئوية ·

وبعد أن فهمنا الآن أن جانبا كبيرا من عدم الاستقرار الكونى يعزى فى الواقع الى خاصية شبه الاستقرار التى تتسم بها بروتونات الهيدروجين، نجد أنه من الضرورى أن نبحث لماذا يتألف الكون أساسا من بروتونات الهيدروجين ·

واذا افترضنا أن الخطوط العريضة لنموذج الانفجار العظيم الساخن صحيحة ، فان حالة المادة فى المراحل المبكرة لابد انها كانت تتمثل فى مكونات فردية من المادة تتحرك كلها بشكل مستقل وبسرعات نسبية فيما بينها • ولابد انه كان من شأن الحرارة المذهلة أن سحقت كل النوى ، بل ومكوناتها وفتتتها الى عناصرها الأولية تماما • ومن المرجح أن تكون حالة الديناميكا الحرارية لكرة اللهب الأولى متسمة بالتوازن المحلى ، لأن المادة كانت على درجة من الكثافة بحيث انه رغم أن الكون كان يتمدد بسرعة عالية وتنخفض درجة حرارته بمعدل كبير ، كانت المادة تتاقلم على التو وباستمرار مع الظروف المتغيرة • ولكن بعد مرور بضع مئات من الثوانى لابد أن تكون الحرارة قد انخفضت بدرجة تتيح للبروتونات والنترونات المتحركة بشكل مستقل أن تندمج معا وتكون نوى معقدة دون أن تتعرض فى الحال لعملية تحلل نتيجة الاشعاع الكثيف • ولاشك أنه كانت تحدث بعض حالات التفتت النووى • وتفيد الحسابات ، على نحو ما أوردنا فى القسم (٥ ـ ٤) ، بأن نحو ربع عدد البروتونات ينتهى به المآل الى تكوين نوى الهليوم مع نسبة اضافية بالغة الضآلة من عناصر أخرى مثل الديتريوم والليثيوم • غير أن وجود الحاجز الكهربى يكتسى هنا تأثيرا جوهريا ، فمن غير الوارد أن تكون الأمور قد استمرت على النحو الذى وصفناه الا لفترة زمنية محدودة كانت فيها حرارة البلازما تعد فى آن واحد منخفضة بالقدر الذى يتيح توقف عملية تفتت وتحلل نوى الهليوم المتكون ، ومرتفعة بالقدر الذى يساعد البروتونات على التغلب على الحاجز الكهربى • ولكن مع استمرار انخفاض الحرارة كان من شأن الحاجز الكهربى ، بعد مضى فترة معينة ، أن أوقف عملية الاندماج ، وتجمدت البروتونات على حالتها شبه المستقرة لتتحول بعد ذلك الى ذرات هيدروجين •

ولعله قد اتضح الآن أسلوب انتقال الكون من حالة التوازن الى عدم التوازن • ولو كان الكون قد بقى على هيئة كرة من اللهب لما كان هناك عدم تناظر زمنى على النحو الذى نراه حاليا فى العالم الحقيقى • ولكن ما شهدته كرة اللهب من ظروف متغيرة أثناء تمددها هو الذى عدل شكل التوازن فى المادة من جسيمات فردية تتحرك بصورة مستقلة الى نوى ثقيلة ويبعث ذلك على الاعتقاد بأن عدم توازن الكون انما يكمن فى تمدده • ولقد كان هذا التمدد على وجه التحديد هو الذى خفف من غموض تناقض أولبرز الذى ناقشناه فى الباب الخامس •

٦ ـ ٢ الامتصاص في المستقبل

ولعلنا ندع الآن المضامين الكونية بصفة عامة والانفجار العظيم وعدم التناظر الزمني فيما يتعلق بالديناميكا الحرارية ، ونركز اهتمامنا على الحركة الموجية المؤخرة ـ التي تحدثنا عنها في الباب الثالث ـ والتي تشكل ظاهرة أخرى لعدم التناظر الزمني ٠

في عام ١٩٤٥ نشر الأمريكيان جون ويلر John Wheeler وريتشارد فينمان Richard Feynman ، وهما اثنان من أبرز علماء الفيزياء النظرية في سنوات ما بعد الحرب ، تفسيرا جديدا ، بسيطا وشيقا ، يوضح لماذا تنتشر الموجات الكهرومغناطيسية في الكون للخارج دائما ، أو لو شئنا صياغة السؤال بشكل أوضح ، لماذا تنتقل الاشارات اللاسلكية للأمام دائما وليس للخلف بالنسبة للوقت ؟ ٠ ومن العجيب أن الدافع وراء نظرية ويلر ـ فينمان لم تكن متصلا بشكل مباشر بعدم التناظر الزمني ولكنه كان يتعلق ببنية الجسيمات الأولية المشحونة كهربيا ٠ وكانت فكرة هذين العالمين تتمثل في التخلص من بعض الصعوبات الرياضية العويصة التي ظلت على مدى أحقاب تشكل عقبات مزعجة تعوق وصف التفاعل بين الجسيمات المشحونة كهربيا والمجال الكهرومغناطيسي ٠ وقد حققت النظرية الجديدة بعض النجاح في هذا الاتجاه ، غير أن أية محاولة لاستنتاج تطبيق لها بصيغة ميكانيكا الكم كانت تقتضي حتما العودة مرة أخرى لادخال تلك الصعوبات الرياضية في الحسبان ٠ ولذلك فقدت النظرية جانبا كبيرا من ميزتها الأصلية ٠

ومع ذلك فقد شكلت فكرة ويلر وفينمان البديعة اطارا مبهرا لكافة أنواع التكهن بشأن عدم التناظر الزمني وعلم الكونيات ، لاسيما بالنسبة لعلماء الكونيات أنفسهم ٠ وجاء بعد ذلك فريد هويل وجاينت نارليكار ، وكانا من أشد مؤيدي نظرية ويلر ـ فينمان ، ووسعا نطاق مفهومها الأصلي ليشمل نظرية للجاذبية (نوقشت بايجاز في القسم (٥ ـ ٥)) ، بل ونظرية للجسيمات الأولية ٠ ولن نقف كثيرا عند هذه الأفكار الموسعة وسنكتفي هنا بدراسة واحد من الخطوط العريضة لفكرة ويلر وفينمان الأصلية ذاتها ٠

ولعلنا نذكر بان ماكسويل كان أول شخص يدمج القوانين المعروفة للكهرباء والمغناطيسية في قانون موحد يتعلق بالمجال الكهرومغناطيسي ويفيد بوجود الموجات الكهرومغناطيسية ٠ ويعد التيار الكهربي هو آلية انتاج هذه الموجات ٠ وقد كشف لنا العلم أن التيار الكهربي ينجم عن

حركة الجسيمات المشحونة كهربيا ، مثل الالكترونات • ولكى يصبح الجسيم المشحون مصدرا للموجات ، ينبغى أن يكون متعاجلا • ومن شأن المجال الكهرومغناطيسى أن يعمـــل على التاقلم مع هذه الحـــركة المتغيرة للجسيم مما يسفر عن نوع من الخلل ينتشر على هيئة موجات ، وتحمل هذه الموجات قدرا من الطاقة ، ولذلك يقال ان الجسيم المتعاجل يشـــع أو يبعث اشعاعا • ولاتنبعث هذه الطاقة الاشعاعية بدون تعويض ، حيث يكون ذلك على حساب طاقة الجسيم مما يؤدى الى ابطاء حركته المتعاجلة ، ويولد هذا التأثير الابطائى نوعا من القوة على الجسيم تسمى قوة الابطــاء الاشعاعى (radiation damping force) وتتسم هذه القوة فى وقع الأمر بأنها بالغة الضآلة • ويندرج التفاعل بين المجـالات الكهرومغناطيســية والجسيمات المشحونة كهربيا المتحركة فيها ، فى اطار فرع من الفيزياء يعرف باسم الديناميكا الكهربية •

ولمـــا كانت الديناميكا الكهربية القائمة على نظرية ماكسويل تتسم بتناظر زمنى تام ، فمن الوادر أن تجرى هذه العملية بالمعكوس ، أى ان تصطدم بعض الموجات الكهرومغناطيسية بجسيم مشحون كهربيا ومتعاجل فيمتصها ، وتلك ظاهرة معروفة أيضا • ولسنا هنا بصدد الحديث عن مدى صحة الحركة المعكوسة فى الديناميكا الكهربية ، ولكن ما يعنينا هو الآتى : من شـــأن الجسيم الذى يتعرض لعملية تعجيل أن « يســـبب » فيما يبدو انبعاث موجات متأخـرة فى اطـار مترابط من الحـــركة ينتشر للخارج من جوار الجسيم ، ولكن من غير الوارد أن تحدث العملية المكسية أى أن تتجمع موجات من مواقع بعيدة فى الكون وفى اتجـاهات مختلفـة وتتحرك للداخل فى اطار مترابط صوب الجسيم لتتعرض للامتصـــاص فى نهـاية المطاف ، أى أنه يمكن القول باختصار ان الموجات دائما تنبعث منتظمة ، ولكن عند الامتصاص ، لاتمتص سوى الموجات غير المنتظمة • ومن أساليب التعبير عن ذلك أيضا أن نقول ان تعجيل الجسيم المشحون كهربيا يسبب انبعاث موجات فى المستقبل وليس فى الماضى • (ويشكل تعبير « موجة منبعثة فى الماضى » اصطلاحا زمنيا عكسيا يستخدم لوصف حالة موجة قادمة من الماضى وتتعرض للامتصاص ، ولايمثل استخدام هذا المصطلح تيسيرا لغويا فحسب بل انه يساعد على تلافى استخدام تعبير قد يكون من شـــأنه اثارة اللبس أو عدم ابـــراز التناظـــر الزمنى فيما هو آت) •

ولم يغير ويلر وفينمان الصيغة الأساسية لنظرية ماكسويل ولكنهما توصلا الى سبب (محتمل) أعمق يفسر لماذا يحدث الاشـــعاع فى اتجاه المستقبل فقط ، بدلا من مجرد رفض القول بان الكون قد « نشأ على هذا

النحو » • وقد حققا ذلك عن طريق دراسة ما يمكن أن يحدث لو أن جسيما مشحونا كهربيا ومتعاجلا أصدر اشعاعا « متساويا » في الماضي والمستقبل• ولا شك أن ارسال اشارات الى الماضي يتضمن كافة أنواع التناقضات من قبيل ما تحدثنا عنه بالنسبة للتاكيونات في القسم (٥ ــ ٢) • ومن الواضح أن مثل هذا النوع من المسلك من جانب جسيم مشحون واحد ، يتناقض تماما مع الواقع • غير أن فكرة ويلر وفينمان تتمثل في أنه قد يكون هناك تحرك « جماعي » لعدد من الجسيمات المتماثلة بحيث تتخذ الموجات المنبعثة منها ، لو نظرنا اليها بشكل جماعي ، شكلا رجعيا تاما لأيختلف عن الشـــكل المألوف (وهو الاتجــاه للمستقبل أو الانبعاث للخارج) ، حتى لو كانت كل منها تتسم على الصعيد الفردى بتناظر زمنى•

وكيف تأتى ذلك ؟ كانت الآليــة المستخدمة في اثبـــات فكرة ويلر وفينمان هى ظاهرة « التداخل » المعروفة • ومن الأساليب الجيدة لبيان تأثيرات التداخلات الموجية أن ندرس الموجات المائية ، فلو أسقطنا حجرين قريبين من بعضهما على سطح بركة ماء ساكنة ، فلن تنتشر الموجات الخاصة بكل حجر بشكل مستقل بل ستتداخل الموجات مع بعضها وتكون شبكة متقاطعة بها بروزات وتجاويف محلية ، وأينما التقت بروزات المجالين الموجيين أو تجاويفهما سيدعم بعضها البعض ، ولكن اذا صادفت بروزات واحد من المجالين تجاويف المجال الآخر فسوف يلاشى بعضها بعضا ويظل سطح الماء هادئا نسبيا •

ولا يختلف الأمر بالنسبة للموجات الضوئية ، فما الألوان التى نراها تنبعث من على سطح عاكس تعلوه طبقة زيتية رقيقة الا نتيجة تداخل بعض أطوال موجات (أى ألوان) الضوء الأبيض الساقط عليه ، فمنها ما يعزز بعضه بعضا ومنها ما يلاشى بعضه بعضا •

وقد اكتشف ويلر وفينمان نتيجة مدهشة تتمثل فى الآتى : نفترض أن جسيما منفردا مشحونا أطلق فى مكان فراغ بحيث تنبعث منه الموجات على هيئة نصفين متناظرين ، نصف متقدم صوب الماضى ونصف متأخر صوب المستقبل • ولو أن الجسيم ذاته وضـــع بعد ذلك في صـــندوق غير منفذ للضوء ، فلن يشع سوى موجات متأخرة صوب المستقبل • ولو انفتح الصندوق ، فسوف تعود الموجات التقدمية للظهور !

ماذا حدث داخل الصندوق ؟ لقد تحركت الموجات المنبعثة من الجسيم المتعاجل وانطلقت للخارج الى أن اصطدمت بالسطح الداخلى للصندوق. ونتيجة لذلك تحررت الالكترونات المشحونة من ذرات الصندوق • وكان

من شأن الموجة المتأخرة أن تصطدم بالصندوق بعد وقت وجيز من مغادرتها جوار الجسيم ، أما الموجة التقدمية فهي تقرع الصندوق « قبل » حتى أن يكون الجسيم قد تحرك ! وبالتالى ـ ومن قبيل التناقض ـ فمن شأن الالكترونات ان تتذبذب بشكل سابق على حركة الجسيم • وقد يبدو توقع حدوث رد فعل فى الأسطح الداخلية ، للصندوق فى وقت سابق لأوانه ، شيئا غريبا ، لأن السبب ، فى عرف الانسان وخبراته ، لابد دائما أن يسبق التأثير • غير أن الفارق بين السبب والتأثير لا يكتسى فى علم الفيزياء مثل هذه الدرجة من الأهمية ، وكل ما يهم هو التفاعل • بل ومن الجائز فيزيائيا أن يتبادل السبب والتأثير موقعيهما ، أو حتى أن يأتى السبب بعد التأثير ، شريطة أن يكون كل شيء متسقا فى ذاته •

ومن شأن ذبذبة الكترونات الصندوق (فى كلتا الحالتين قبل تحرك الجسيم المشحون الأساسى وبعده) ، أن تولد موجات ، وسوف تشع هذه الموجات كذلك صوب الماضى والمستقبل معا ، وفقا لافتراض ويلر وفينمان • وبالتالى سوف يتكون داخل الصندوق اطار معقد من الحركة الموجية التقدمية والمتأخرة ، وسوف تتداخل الموجات مع بعضها بشكل بالغ التعقيد • وكانت السمة البارزة لأعمال ويلر وفينمان هى التوصل بعملية حسابية بسيطة الى اثبات أن الموجات التقدمية المنبعثة من الكترونات الصندوق ستلاشى الموجات التقدمية الواردة من الجسيم الأصلى ، شريطة أن يكون غير منفذ تماما (أى يمنع تماما دخول أية موجات خارجية الى الصندوق) • علاوة على ذلك ، فمن شأنها أيضا ان تعزز الموجات المتأخرة الصادرة من الجسيم الأصلى ليصل بها الى كامل قدرتها ، أما تأثير موجات رد الفعل المنبعثة من الصندوق على كل الجسيمات المشحونة فيتمثل فى « الغاء » كل التحركات المسبقة التى تجرى قبل تحرك الجسيم الأصلى ، وفى أن تولد على وجه التحديد القوة الاشعاعية الماصة الصحيحة التى تؤثر على الجسيم الأصلى والتى تؤدى الى انتقال الطاقة من الجسيم الى حوائط الصندوق • وبذلك يبدو المسلك الديناميكى الكهربى لهذه المنظومة ، بالنسبة لمراقب داخل الصندوق ، متفقا تماما مع معارفنا ومشاهداتنا اليومية • أما لو كان الصندوق شفافا ولو بدرجة ما ، فسوف تظل هناك تأثيرات تقدمية تناقضية •

وبعد أن قدما هذا البيان لكيفية توليد موجات متأخرة تماما من موجات متناظرة زمنيا ، باستخدام رد فعل صندوق ، قدم ويلر وفينمان شرحا للخطة التى يتدخل فيها عدم التناظر الزمنى • فلو افترضنا أن مسلك المنظومة ككل يتسم بالتناظر الزمنى ، فهذا يعنى امكان استخدام المجال

الموجي المعكوس لتوليد موجة تقدمية نامة من المصدر · ويكمن مفتاح عدم التناظر في آلية « الامتصاص » ، فلما كان الصندوق غير منفذ ، سوف تمتص الموجات المصطدمة بالأسطح الداخلية ، وهنا يعنى فى الواقع أنها سوف تتحول الى حرارة · وسوف يكون من شأن الالكترونات المتذبذبة أن تقرع الذرات في الحوائط وتبعث فيها حركة حرارية ـ أما الحرارة الناجمة عن تلك العملية فانها تتبدد عبر جدران الصندوق وفقا للقانون الثانى للديناميكا الحرارية ، ولـــكى يحدث التأثير العكسى ، وتتكون موجات تقدمية ، لابد أن يصطدم عدد فائق من الذرات ، بطريقـة ملائمـة ، حيث ينبغى أن تنقل هذه الذرات حركتها الحرارية الى الالكترونات فى التوقيت السليم الذى يجعلها كلها مجتمعة وتشع موجة مترابطة فى اتجاه الجسيم الأصـلى داخل الصـندوق · ولو عدنا الى المبادىء المشـار اليها فى الباب الثالث فســوف نجد أن مثل هذا الوضع يعد بعيد الاحتمال للغاية ، ان لم يكن مستحيلا ·

وهكذا ، فقد تمكن ويلر وفينمان ـ بادخالهما آلية رد فعل امتصاصي ـ من أن يضعا مصدر عدم التناظر الزمنى للاشعاعات الكهرومغناطيسية على عاتق الديناميكا الحرارية تماما · أما عن كيفية ذلك ، فسوف نلاحظ أ نه ، لو كان الصندوق غير منفذ تماما ، يمكن الاســتعاضة عن تأثير المجالات داخل الصندوق بالتأثير المباشر عن بعد فيما بين الجسيمات المشحونة ، ولا يعد هذا التأثير المباشر فيما بين الجسيمات من النــوع الفورى الذى يميز نظرية نيوتن للجاذبية ، ولكنه تأثير مؤجل ينتشر بسرعة الضوء ، ويعمل علاوة على ذلك فى كلا الاتجاهين من حيث الزمان ، للأمام وللخلف · ويتضح مما تقدم أن مثل هذا المبدأ التأثيرى ، رغم أنه قد يبدو غريبا بعض الشيء ، لايختلف ، داخل صندوق غير منفذ ، عن نتائج نظرية ماكسويل القائمة على انتشــار صــور الخانى عبر مجال ما · غير أن ميزة وصف الديناميكا الكهربية بشكل مقصور على التفاعل بين الجسيمات تتمثل فى أنه يعود بمسألة عدم التناظر الزمنى الى حظيرة حركة الجسيمات المتعددة ، أو الديناميكا الحرارية ، حيث يسهل فهمها · ولم يعد هناك داع ، وفقا لهذه النظرية ، لمحـاولة تبرير عدم التنـاظر الزمنى للموجات فى المجال الكهرومغناطيسى ، لأنه « ليس » هناك مجال بالمرة ·

ولاشك أنه لا مجال لأن تؤخذ نظـــرية ويلر وفينمان بمأخذ الـ الا لو تشابه العالم الحقيقى فى مسلكه مع مكان مغلق منعزل وغير منفذ تماما ، والا كان علينا أن نواجه التأثيرات التقدمية الضارة · وليس هنا بالتأكيد شيء غير منفذ تماما فى الكون فى المحيط القريب من مجرتنا

وبوسع الضوء أن ينتقل لمئات الملايين من السنين دون أن يصادف كمية تذكر من المادة • أما عن احتمال امتصاصات كل الاشعاعات فى المستقبل فتلك مسألة مرهونة بحالة الكون فى المستقبل البعيد • وبالتالى ، فان مواصلة الحديث عن نظرية الامتصاص هذه سينتقل بنا الى مجال آخر هو كيف ستكون نهاية الكون ، وبذلك يمكن القول بشكل ما ان المسلك المحلى للاشعاع الكهرومغناطيسى يتيح لنا « القاء نظرة » على المستقبل والتكهن بما يمكن أن يحدث للكون ، وهذا يعنى أن عملية حسابية بسيطة ، تجرى فى اطار نماذج فريدمان للكون ، تفيد بان هذا الكون سيؤول فى نهاية المطاف الى الانقباض •

٦ ـ ٣ موت الكون

ومن الغريب حقا أن يكون وقع عدم التناظر الزمنى على الفكر البشرى هو أن معظم الناس يؤمنون بانه قد جاء وقت فى الماضى شهد نشأة كل شىء ، ولكن نادرا ما يفكر أحد فى أنه سيأتى وقت فى المستقبل ينتهى فيه كل شىء ، ولكن من وجهة نظر الفيزياء ، يمكن لأى تطور أن يجرى بشكل معكوس ، وبالتالى تتلخص مسألة « الكون المقبل على نهاية » فى عملية تقرير ما اذا كان من شأن حركة الكون على النطاق الواسع ان تأتى بعكس ما يشهده حاليا من تطور •

وقبل أن نتحدث عن طبيعة مثل هذه النهاية ، قد يكون من المفيد وصف الظروف التى يتحتم توافرها لحدوث هذه الكارثة • ولو عدنا الى القسم (٥ ـ ٢) ، وعلى وجه التحديد للشكل (٥ ـ ٥) فسوف نجد أن هناك احتمالين لمستقبل الكون وفقا لنماذج فريدمان ، حيث يفيد النموذجان (١) و (٢) بان الكون سيواصل تمدده الى الأبد ، بينما يوضح النموذج (٣) أن هذا التمدد سيتوقف عند مرحلة ما ثم ينقلب الى الانكماش » هذه ستنتهى بتقلص الكون والوصول به الى الفذاذة النهائية
الانكماش » هذه ستنتهى بتخلص الكون والوصول به الى الفذاذة النهائية
الشبيهة بتلك التى بدأ بها تمدد الكون • وهكذا نجد أن النموذج الذى له نهاية من حيث المكان ، له أيضا نهاية من حيث الزمان ، وهو يتسم بالتأكيد بتناظر زمنى • أما الظرف الضرورى لبدء عملية الانقباض فهو يماثل فى الواقع مفهوم نصف قطر شفارزشيلد بالنسبة للثقوب السوداء ، ولو كانت كثافة الكون كبيرة بدرجة كافية فلا مفر من حدوث الانقباض •

وفي العصر الحالي ، تبلغ القيمة الحرجة لكثافة الكتلة اللازمة لعودة الكون الى الانكماش زهاء ١٠ ـ ٢٩ جم / سم٣ وهو ما يوازى فى المتوسط ذرة واحدة لكل مائة متر من الفضاء فى الكون ، وتفيد التقديرات الحالية بأن كثافة المادة الضوئية (كل النجوم وما شابهها) تناهز ١٪ ، فقط من هذه القيمة • وهذا يعنى أن الأمر صار يتعلق بمقدار ما قد يحتويه الكون من صور أخرى من المادة أو الطاقة • فمن الوارد على سبيل المثال أن يكون الفضاء فيما بين المجرات يحتوى على كمية هائلة من المادة أو أن تكون المجرات تشتمل على عدد بالغ من النجوم غير المرئيـــة أو الثقوب السوداء • علاوة على ذلك ، فمن الجائز أن يكون الكون مليئا بكمية ضخمة من موجات الجاذبية ، أو النيوترينات ، وكلاهما من شأنه أن يتفاعل مع المادة بدرجة من الضعف تجعل مثل هذه الخلفية غير ملموســـة بالمرة تقريبـــا •

وتستدعى مسألة تقرير دور الطاقة المستمدة من هذين المصدرين ، اهتماما كبيرا من جانب علماء الفلك • ولما كانت العقبات التقنية والعوامل المؤثرة متباينة ومتعددة ، كثيرا ما تتغير الآراء وتتقلب ســواء لأسباب شهودية أو فلسفية • وقد شهد مطلع السبعينات تحركا عاما للآراء صوب الكون الكثيف ، غير أن هذا التحرك انقلب مؤخرا بشكل حاد •

ولا يتوقف الأمر عند مجـــرد قياس الكثافة فحسب ، حيث يمكن بشكل مباشر قياس معدل تباطؤ التمدد الكونى من واقع المجال الحركى للمجرات ذاتها (ولعلنا نتذكر أن النظر الى الأبعاد السحيقة فى الكون يوفر مؤشرا عن شكل التمدد فى الماضى البعيد بما يتيح الفرصة لتقدير معدل التباطؤ) • غير أن مثل هذه القياسات من شأنها فى الواقع أن تعطى صورة مضخمة لمعدل التباطؤ بســـبب التغير البطىء فى درجة بريق المجرات ، ولذلك فقد يكون من الأحرص أن نقول ان مجال المناقشة بالنسبة لعودة التقلص ، مازال مفتوحا •

وقد تحدثنا فى القسم الســـابق عن نظرية ويلر ـ فينمان وشرط صلاحيتها ، الذى يتمثل فى عدم الشفافية التامة للكون ، وهو شرط مرهون بالحركة الكونية فى المســـتقبل البعيد ، وهذا يعنى أن نموذجى فريدمان القائمين على التمدد اللانهائى للكون يتفقان مع هذا المطلب • أما النموذج الثـالث الذى سيعود الى الانكماش فهـــو نموذج مانع تمـاما لنفاذ أية اشعاعات • ومن هذا المنطلق يمكن القول بأن الدلالة المؤيدة لفكرة كون محدود الكثافة ومتمدد للأبد ، دلالة تتعارض مع نظرية الامتصاص •

ولو بدأ الكون في الانكماش فمن المتوقع أن يعود الى ظروف كرة اللهب التى تلت الانفجار العظيم · وســـوف تجرى هذه العودة بشكل تدريجى بالغ البطء بحيث تستغرق بضعة بلايين من السنين ، وسوف يجرى الجانب الأكبر من عملية عودة الانكماش ، دون أن يطرأ تغير يذكر على مظاهر الكون على النطاق الواسع ، وذلك بسبب تأخر الضوء المنبعث من المناطق البعيدة · ومع ذلك فسوف تحدث حركة انفجارية داخلية عامة ملموسة عندما تبدأ المجرات في السقوط ببطء صوب بعضها البعض ثم الارتطام ، وسوف يكون من شأن درجة حرارة الاشعاع الحرارى الخلفى ، التى يغذيها ضوء النجوم ، أن ترتفع ببطء خلال عملية الانكماش ، وسوف تصل فى المراحل التالية الى درجة من الارتفاع تكفى لأن تتبخر النجوم · وتبدأ بعد ذلك عمليـــة الاحتراق البشعة التى تفنى كل شىء بسرعة تصـــاعدية تفوق الخيـــال . وتتوالى المراحل مع كرة اللهب بشكل معكوس عما تناولناه من قبل عند دراسة الانفجار العظيم ، لينتهى المآل بالكون عند الفذاذة في المكان ـ الزمان ، ومثلما كانت الجاذبية هى « قابلة » الكون ستكون فى النهاية هى « الحانوتى » الذي يقبره ·

ومازلنا مع نماذج فريدمان لنجد أن البديل لعملية السحق والفناء المروع هو التمدد المترامي المتجمد ، فلو استمر الكون فى التمدد بلا نهاية فلن يحدث مطلقا أن يتحقق توازن ديناميكى حرارى تام · وعلى أية حال فليس من الوارد أن تستمر الى الأبد هذه الحالة من عدم التوازن البالغ الذى ترتهن به حياتنا حاليا والتى تتجسد فى مساحات سحيقة من الفضاء البارد الذى تتخلله النجوم البيضاء الملتهبة وكأنها بقع صـــغيرة مضيئة موزعة بشكل عشوائى · ومن المتوقع مع مرور الوقت أن ينفد كل الوقود النووى ومن ثم تتلاشى النجوم · وسوف تفنى النجوم الواحد تلو الآخر اما بالتفتت على هيئة انفجارات سوبر نوفا واما بالتبريد وبالتالى العتامة ، وقد ينقبض عدد منها ويتحول الى ثقوب سوداء ، ويقدر أن تستغرق هذه العملية برمتها بضعة بلايين من السنين ·

ومع اســـتمرار التمـــدد ، ســـوف تتبعثر المجرات الآفلة وتختفى عن الأنظار ، أما المادة فى هذه المجرات فانها اما ستلتهمها الثقوب ، أو ستنخفض شيئا فشيئا درجة حرارتها حتى تصل الى الدرجة الســـائدة فى الخلفية الفضائية الأبدية · وليس من المتوقع أن يشهد الكون بعـــد ذلك شيئا يذكر بخلاف الفراغ والسواد والبرودة · وقد تحدث بين الحين والحين كارثة مفاجئة من قبيل اصطدام نجمين نترونيين أو ثقبين أسودين مما يعيد بصفة مؤقتة بعض النشاط الى الكون على هيئة ســـيل من اشـــعاعات

الجاذبية ، بل وقد نتوقع أن تحدث من وقت لآخر هذه الذبذبات الديناميكية الحرارية بالغة الندرة والتي من شأنها أن تضيء الأركان البعيدة في هذا الظلام الحالك • أما ما عدا ذلك فهو القبر •

ولا شك أن العلم يتضمن بعض التكهنات التي تثير مثل هذا القدر العميق من الاحباط واليأس والكآبة •

٦ ـ ٤ عوالم بلا نهاية

ولقد اقترح عدد من علماء الكونيات أفكارا مختلفة تماما بشأن التطور الزمني للكون ، ففي عام ١٩٤٦ طرح اثنان من علماء الفيزياء الفلكية البريطانيين ، هما هيرمان بوندي Hermann Bondi وتوماس جولد Thomas Gold ، فكرة مؤداها أن الكون اذا كان قد بدا على شاكلة واحدة (على النطاق الواسع) من مكان لمكان ، فربما يكون كذلك من زمان لزمان ، وهذا يعني أن الكون في شموليته لا يتعرض في الواقع لأي تغيير ، ولابد بالطبع أن يستمر الكون في التمدد ، وأن يكون هذا التمدد بمعدل ثابت دائما • ولما كان التمدد يؤدي الى تناقص كثافة المجرات في الكون ، كان لابد من ايجاد آلية تجعل التمدد يتلاءم مع فكرة عدم التطور الزمني ، وكانت الآلية التي اقترحها بوندي وجولد هي استمرار تكون مجرات جديدة لتملأ « الفجوات » المترتبة على تباعد المجرات الموجودة بالفعل • أما المادة المستخدمة في تكوين هذه المجرات فهي تنشأ بشكل مستديم مع تمدد الكون • ولا يتضمن هذا النموذج انفجارا عظيما يهيء الظروف لنشأة أي شيء ، فالمادة تدخل الكون في جميع الأوقات • ويتبين من ذلك أن المسلك العام لهذا الكون غير المتغير ليس مسلكا استاتيكيا وانما هو منتظم ، تتطور فيه النجوم والمجرات بشكل فردي على مدى مراحل حياتها الى أن تخبو وتأفل ، وتنشأ باستمرار المادة ـ وتتجمع ـ لتكون أجيالا جديدة من النجوم لتحل محل الأجرام الفانية ، ومادام الكون في مثل هذه الحالة من الاستقرار والانتظام فليس ثمة بداية له ولا نهاية •

والسؤال البدهي الذي يبعثه هذا التصوير هو : ما هي الآلية التي تتيح للمادة أن تدخل الكون بشكل مستديم ؟ ولما كان أسلوب نشأة الجسيمات كميا من مجال الجاذبية قد فقد فاعليته على الصعيد الكوني في ظل الظروف الحالية ، فلابد من البحث عن مبدأ جديد • ومن الأفكار البارزة لمثل هذا المبدأ هو ما طرحه فريد هويل على هيئة نوع جديد من

المجالات يسمى « الخلق » Creation (c) field وسنطلق عليه اسم المجـال (خ) ، ومن خصـائص المجـال (خ) أن له طاقة سالبة بحيث انه لو اقترن بالمادة ، يكون من شأن عملية خلق الذرة (ولتكن ذرة هيدروجين على سبيل التيسير) أن تكون مصحوبة بتعزيز لمجال الطاقة السالبة ، وبالتالى تبقى القيمة الاجمالية للطاقة محفوظة ، مما يجعل المسألة برمتها تتفق مع نظرية النسبية العامة ، غير أنها لا تتلاءم بالطبع مع قوانين فيزياء الجسيمات الأولية الخاصة ببقاء « بطاقات الخصائص » المختلفة • وعلى أية حال ، فان معدل الخلق المطلوب يعد ضئيلا للغاية ، حيث لا يزيد على ذرة واحدة سنويا فى حيز فى مثل حجم مدينة صغيرة ، وهو بالطبع معدل غير ملموس فى الواقع ولكنه يكفى لتعويض تناقص الكثافة الناجم عن التمدد الكونى •

وقد تناول هذه النظرية فى مراحلهـا الأخيرة العالمان فريد هويل وجايانت نارليكار وطوراها بدرجة كبيرة من التفاصيل حتى انهـا حظت بشعبية كبيرة على مدى بضع سنوات • غير أن ما شـهدته الستينات فى منتصفها من اكتشاف بعض التـأثيرات التطورية الأكيدة فى الكون ثم اكتشاف الخلفية الاشعاعية الحرارية ، غزز بقوة الاعتقاد بأن الكون كان فى حالة كثيفة ملتهبة قبل بضعة بلايين سنة ، ومن ثم لا مجال لأن يكون فى حالة انتظـام ، وبالتالى سقطت هـذه النظرية الخيالية من الحسبان بصفة عامة •

بيـد أنه قد يـكون من الصعب تجاهل ما يمثله كون بدون بداية ونهاية من اغراء فلسفى • ولذلك كان نموذج ما يسمى بالكون الترددى حلا وسطا جمع بين المميزات الفلسفية لنظرية الكون المنتظـم وما حققه نمـوذج الانفجار العظيـم من نجاح ، وتقوم النظرية الجديدة على النموذج رقم (٣) لفريدمان والذى يعود للانكماش ، مع اضافة فرضية جديدة هى أن الكون سيتغلب على ما يتعرض له من أحداث عنيفة نتيجة الفذاذة عند الحدين الزمنيين (ولقد أشرنا فى القسم (٥ـ٣) الى عدد من الأساليب التى يمكن أن يحدث بها ذلك) • ولو كان الأمر كذلك ، فمن شـأن الكون ، فى نهاية دورة التمدد واعادة الانكماش ، أن يصل الى درجة بالغة من الكثافة ثم « يرتد » مرة أخـرى فى دورة جديدة من التمدد وعودة الانكماش شبيهة بسابقتها وهلم جرا • ولو استمرت الأمور تجرى على هذا النحو ، فهذا يعنى أن الحركة الكونية تتخذ شكل سلسلة لانهائيـة من التذبذب بين حد أقصى وحد أدنى من حيث الحجم (انظر الشكل ٦ـ٣) • ويتسم مثل هذا الكون أيضا بانه ليس له بداية أو نهاية ، غير أن العنف

الذى تتصف به الأحداث فى مراحل الكثافة البالغة قد يكون من شأنه أن يدمر كل بنية المرحلة السابقة وأية معلومات تخصها بحيث تبدأ فى كل دورة كرة جديدة تماما من التطور •

وقد نتساءل كيف يتلافى الكون الترددى الوصـــول الى حاله من التوازن الديناميكي الحرارى • ويوضح الشكل (٦ ـ ٤) منظومة معملية مماثلة لهذا النموذج ، وتتكون من غاز معزول فى اسطوانة ومضغوط تحت تأثير وزن مكبس • ولو انضغط المكبس بقوة لأدنى من وضع التوازن ثم ترك حرا فسوف يندفع لأعلى بشدة بفعـــل قوة الغاز المنضغط داخـل الأسطوانة • ومن شأن القصور الذاتي للمكبس أن يتسبب في تجاوزه وضع التوازن مما يؤدى الى خلخلة الغاز وبالتالى يعود المكبس الى النزول لأسفل ويتجاوز مرة أخرى وضع التوازن ويضغط الغاز ، وتستمر دورة التمدد والعودة الى الانكماش هذه المرة بعد المرة ، تماما مثل حركة الكون الترددية • غير أن تلك المنظومة المعمليـــة لن تســـتمر فى التذبذب الى مالا نهاية ، وذلك لأسباب عديدة ، فمع كل حـــركة علوية للمكبس يتمدد الغاز في الأســطوانة ولكن بمقدار يقل قليلا عن حركة المكبس ، ويعنى تأخر الغاز بهذه الطريقة انه يتعرض دائما لقدر محدود من عدم التوازن بالنسبة للجهاز ، وينتج عن ذلك أن انتروبيا الغاز تتزايد قليلا في كل دورة مع محاولة الغاز استعادة حالة التوازن • وتتجلى هذه الزيادة في الانتروبيا على هيئة ارتفاع في درجة حرارة الغاز ، ويأتى هذا الارتفاع على حساب طاقة المكبس ، وبالتالى تتباطأ تدريجيا حركة المكبس الى أن تصل المنظومة مع الوقت الى الثبات ولكن مع ارتفاع درجة حرارة الغاز وزيادة الانتروبيا • ولو كانت هناك ماكينة تحرك المكبس فسوف تستمر الحركة الترددية الى أن تتوقف عملية التغذية الخارجية بالطاقة ، وعندئذ ستبدأ حركة المكبس فى التباطؤ الى أن تتوقف تماما فى نهاية المطاف •



شكل ٦ – ٣

الشكل ٦ – ٣ : نموذج جديد للكون · لو تغلب الكون في مشوار عودته الى الانكماش على مشاكل المراحل الاخيرة ، عن طريق سورة من القذاذة ، فسوف يكون من شانه ان يكرر الارتداد من وضع لوضع للابد ، غير ان تاثير الاحتكاك الكوني سيولد انتروبيا على هيئة حرارة ، وسوف ترتفع هذه الحرارة بشكل تدريجي مع كل دورة الى ما لا نهاية · ولتلافي هذه الظاهرة طرح اقتراح بان يبدا الكون كرة جديدة مع كل دورة ، تحتمل ان تتغير فيها الانتروبيا وكل الخصائص الفيزيائية الاخرى ·

أما في الكون الحقيقي فان الانتروبيـــا المتولدة نتيجة التباطؤ في التمدد تكون بالغة الضآلة ، حتى انها تقل كثيرا عن تلك الناجمة عن الضوء النجمي (على نحو ما أوضحنا في القســـم ٦ – ١) · ومع ذلك ، فالمبدأ العام واحد ، ويبدو للوهلة الأولى أنه مع استمرار تزايد الانتروبيا في الكون ســـوف تتباطأ الحركة الكونية الى أن تتوقف في نهـــاية الأمر · غير أن الأمر لايمكن أن يجرى على هذا النحو ، لأن كونا يتسم بمثل هذه الجاذبية الذاتية ، لن يكون من شأنه مطلقا أن يصل الى حالة توازن – والا فلا مفـــر من أن ينقبض ، فمجال الجاذبيـــة يشكل موردا للطاقة لا ينضب ، مما يفسح المجال لاستمرار التذبذب الى مالا نهاية · وتفيد الحسابات بأن نطاق هذه الذبذبة يتزايد في واقع الأمر ·



شكل ٦ – ٤

الشكل ٦ – ٤ : منظومة معملية محاكية للكون الترددى · لو ضغطنا المكبس بقوة ثم تركناه حرا فسوف يعلو ويهبط بحيث يتمدد الغاز ثم ينضغط في سلسلة ترددية مثل الكون ، وعلى غرار الشكل (٦ – ٣) · غير أن هذه الحركة الترددية سوف تتوقف تدريجيـا مع الوقت (الا لو كانت تجرى بفعل محرك) مع تحول الحركة المنتظمة للمكبس الى حـركة غير منتظمة (حرارة) للغـاز ، بما يتفق مع قانون زيادة الانتروبيا · وعندما يصل المكبس الى وضع السكون سيتوقف تزايد الانتروبيا · غير ان ذلك لا يحدث في الكون الحقيقي حيث ان الحركة الترددية تجرى تحت تاثير الجاذبية وبالتالي يستمر تزايد الانتروبيا (الحرارة) بلا حدود ·

ولو كانت الانتروبيا في الكون تتزايد من دورة الى أخرى ، فنحن بالتأكيد لا نعيش في كون ترددى من النوع الوارد ذكره هنا ، لماذا ؟ ان أكبر كمية من الانتروبيا في الكون (وبفارق ضخم) ، هي تلك الموجودة على هيئة اشعاع خلفى ، ومع ذلك فهي ضئيلة للغاية • وبما أن الانتروبيا الناجمة عن اشعاع الضوء النجمى في دورة واحدة سابقة تكفى لتغطية كل هذا الاشعاع الخلفي فنحن بالتالى نعيش على أقصى تقدير فى الدورة الترددية الثانية لا أكثر •

ويرى بعض المفكرين أن الانتروبيا لا يمكن أن تتحمل مرحلة الكثافة البالغة فيما بين الدورات ، وبالتالى تبدأ كل دورة وكأنها تنشأ من جديد • ولو انتهكت قوانين الديناميكا الحرارية عند المراحل النهائية للدورة ، فقد ينسحب ذلك أيضا على أى من قوانين الفيزياء (مع بقاء النسبية العامة ، وهى آخر واحد من هذه القوانين الراسخة ، بعيدة عن ذلك الاحتمال) • ويصل الأمر بهذه الفلسفة فى حدها الأقصى الى الافتراض بأن كافة القوانين • وربما الثوابت الطبيعية ذاتها ـ مثل شحنة الالكترون ومعامل بلانك (نسبة الى الفيزيائى الألمانى ماكس بلانك (Max Planck) (١٨٥٨ ـ ١٩٤٧) ـ تتغير وتبدأ كرة جديدة تماما فى كل دورة • واذا لم يكن هناك شىء ينتقل من دورة لدورة ، فهذا يعنى أننا نتحدث عن أكوان منفصلة تماما فيزيائيا وبالتالى يمكن أن نعتبرها تجمعا لا نهائيا من الأكوان الموجودة فى وقت واحد • وقد تكون القوانين والثوابت الطبيعية فى بعض منها مماثلة لما يحكم عالمنا وبالتالى قد تنشأ فيها الحياة • غير أن معظمها سيختلف كثيرا عن كوننا وبالتالى لا مجال لأن تقوم فيها حياة • أما لماذا نبحث عن هذا النوع من الكون بالذات فتلك مسألة تندرج فى اطار البيولوجيا • ولا يوجد من بين النماذج المطروحة للكون سوى فئة صغيرة من شأنها أن تبعث لدى علماء الكونيات التساؤل عن احتمالات قيام الحياة فيها • وقد يبدو هذا الانقلاب الغريب المتمثل فى استخدام البيولوجيا لتفسير الفيزياء أو حتى الفلك ، محيرا بالنسبة للقارىء ، وسوف يجد فى الباب السابع مزيدا من هذا النوع من التكهنات • غير أن هذه الفكرة تكتسى طابعا فلسفيا فقط ، ولا تعد نظرية طبيعية ، ولا يمكن ايجاد مبررات لها لا بالتجارب ولا المشاهدات •

٦ ـ ٥ النظام وعدم النظام فى الكون

ولقد ذكرنا فى القسم (٦ ـ ١) أن أصل عدم التوازن فى الكون يعزى الى التغير المفاجىء فى شكل التوازن بالنسبة للمادة عندما تمددت كرة اللهب الأولى وانخفضت حرارتها • والواقع ان السبب الأساسى فى عدم استقرار الكون هو انه كون متحرك • ويمكن بشكل او بآخر أن نعتبر الحركة الشاملة للكون بمثابة نوع من « التداخل الخارجى » مع منظومات الديناميكا الحرارية المحلية للمادة والاشعاع • ولقد شرحنا بدقة فى الباب الثالث كيف أن هذا التداخل يعد ضروريا لخلق عدم التناظر الزمنى ، ولكنه لا يكفى فى حد ذاته لتحديد اتجاه عدم التناظر الزمنى • وثمة شىء ضرورى آخر يتمثل فى افتراض وجود تحركات دقيقة عشوائية ، وتسمى هذه التحركات فى بعض الأحيان بالفوضى الجزيئية • ولو نظرنا الى الكون ككل واعتبرناه منظومة فرعيــة عملاقة فسوف تظهر مشــكلة تتمثل فى محاولة ايجاد تفسير « كونى » لهذه الفوضى الجزيئية •

ولقد ناقشنا من قبل واحدا من التفسيرات المطروحة وأوضحنا عدم سلامته ، وهو التفسير الذى يقول باننا نعيش بالقرب من قاع ذبذبة كونية عملاقة حول حالة التوازن ، غير أن ذلك التفسير لا يتفق مع ما هو معروف عن التاريخ القديم للتمدد الكونى •

وثمة احتمال آخر لا يقل غرابة عن سابقه وان كان أكثر منه شيوعا بكثير ، ومؤداه أنه ليس هناك مجرد كون واحد ولكن تجمع كامل من الأكوان ، قد يصل عددها الى ما لا نهاية • ويمكن أن يتحقق ذلك اما عن طريق دورات ترددية متتالية على نحو ما أوضحنا فى القسم السابق ، أو اذا انتقلنا الى مستوى الميكانيكا الكميــة ، بان تتمــايش كل بدائل العوالم الكمية المحلية فى مصفوفة عملاقة من الأكوان المتوازية • وأيا كان الأمر ، فمن شان أى تجمع للأكوان أن يتيح تحقيق كافة المجالات الأصلية المحتملة للتحركات الميكروسكوبية الدقيقة • ومن ثم فان الكون المشهود انما هو مجرد عضو نمطى فى المجموعة اختير عشوائيا •

ويبدى عدد كبير من الناس تشككهم ازاء فكرة وجود تجمع للأكوان ويؤثرون ، فى تبريرهم لمســألة بدء نشــأة الكون المشــهود بالتحركات الميكروســكوبية العشوائية ، القول بأن الأمور قد جرت على هذا النحو لأنها ببساطة قد جرت على هذا النحو ! وأيا كانت وجهة النظر الراجحة ، من الواضح أن الكون المتسم بعدم التناظر الزمنى لا يتطلب أية ظروف أولية فريدة ، بل انه يقتضى فيما يبدو نشأة ذات طابع بالغ العمومية

والعشوائية على المستوى الميكروسكوبى • ويعد هذا الطابع العشوائى الأولى على وجه التحديد هو السمة المتوقع أن تنجم عن الفذاذة التى ذكرنا فى القسم (٥ ـ ٣) أنها حدث صاغت تماما لا يمكن التكهن به •

ومن بين النتائج المترتبة على الافتراض المتعلق بعشوائية التحركات الميكروسكوبية الأولية ، أن التاثيرات التى تصل من كافة الاتجاهات فى السماء الى الأرض تتسم بانها على درجة من الاستقلالية • فالموجات الكهرومغناطيسية على سبيل المثال تصل باستمرار الى الأرض فى صور متعددة منها الضوء النجمى والأشعة السينية وأشعة جاما وأهم من ذلك كله الاشعاع الخلفى الحرارى المتبقى فيما يبدو من الانفجار العظيم ذاته • ولأن هذا الاشعاع حرارى على وجه التحديد فهو لا يحمل أية معلومة تفصيلية بشأن كرة اللهب الأولى • وليست هناك رسالات تصل الى الأرض على هيئة موجات كرية منكمشة فمثل ذلك الاشعاع الكهرومغناطيسى المتقدم يحتاج « معاونة » ميكروسكوبية خاصة ، غير انه لا مجال لتحقق مثل هذا التعاون فى ظل ما تتسم به التحركات الميكروسكوبية الأولية من عشوائية مفترضة • (ولو كانت نظرية ويلر – فينمان تحظى بالمصداقية لما كانت هناك بالطبع حاجة لهذه الخطوة ، حيث كان الاشعاع سيكتسب طبيعته التأخيرية التامة من خصائص الديناميكا الحرارية للمادة الممتصة) •

وقد طرح عدد كبير من علماء الكونيات مفاهيم عديدة ومتباينة تماما لمسالة النظام وعدم النظام فى الكون ، ومن أبرزهم توماس جولد وجون ويلر •

ويفترض البعض انه كان هناك وسط الفوضى الأولية « تخطيط » بارع ، يحمل فى طياته ، رغم عدم أهميته فى وقت الانفجار العظيم ذاته ، بذور معجزات مستقبلية • أليس من الجائز أن تكون التحركات الميكروسكوبية الأولية تبدو لنا عشوائية بينما هى تحجب تعاونا يجرى بين عدد لا حصر له من الجسيمات ، كل منها يتحرك بطريقة مختلفة ولكنها فى آخر الأمر تصل الى نهاية واحدة مترابطة ؟ أمن الوارد أن يشتمل الكون على نظام مستتر يتوارى خلف ما قد نراه من تحرك عشوائى ظاهرى لمحتويات الكون ؟

ولتصوير كيف يمكن أن يختفى النظام وراء الفوضى الظاهرية ، ابتكر الفيزيائى البريطانى ديفيد بوم (David Bohm) تجربة بديعة : فقد أحضر بوم وعاء شفافا به محلول دبس السكر وملعقة ، ثم وضع فى المحلول نقطة صبغة وأخذ يقلب ، فبدأت نقطة الصبغة تستطيل وتتخذ شكل

خيط حلزونى نتيجة الدوران • ومع استمرار التقليب ازداد الخيط رفعا ولولبة حتى ان الناظر الى المحلول يحسبه للوهلة الأولى خليطا متجانسا رمادى اللون • ولا شك أن الشكل الذى اتخذته نقطة الصبغة والمستتر فى المحلول يعد عشوائيا • ورغم أن بنية هذا الخليط الملولب بالغة التعقيد فاننا نقول ان النظام قد صار مستترا ولكنه لم يختف • ويمكن أن تتضح هذه الحقيقة بشكل جلى عند دوران الملعقة فى الاتجاه العكسى حيث سنفاجأ بفك اللولبة ثم تجمع الخيط شيئا فشيئا ليعود فى النهاية الى شكله الأصلى على هيئة فقاعة ، لقد عاد النظام الى الظهور مرة أخرى ! وقد يكون الكون على هذه الشاكلة ، وقد يحدث أن يبرز النظام الى النور فى وقت ما فى المستقبل •

وكان هذا على وجه التحديد هو ما تصوره جولد • ففى هذه المرحلة من الكون لاشئ يحدث من قبيل الخوارق أو المعجزات ، فالمنظومات الفرعية تتكون بشكل عشوائى وتتزايد انتروبيتها بالأسلوب المعتاد • ويتجلى عدم النظام فى الكون بدلا من النظام : فالعربات تتلف والناس يموتون والجليد يذوب بينما تنتج عربات جديدة ويولد أناس آخرون وتتكون الثلوج مرة أخرى ، وكل ذلك على حساب تبدد الطاقة وزيادة الانتروبيا فى الكون الأرحب • أى أن الفوضى الاجمالية تزداد • ولكن ماذا لو جاء وقت فى المستقبل انقلب فيه هذا النمط من عدم الانتظام ؟ ولاشك انه من الوارد حدوث مثل هذا الوضع الغريب • ولكى يتحقق ذلك دون الاخلال بحقيقة ان المكونات الميكروسكوبية فى المراحل الأولى للكون قد بدأت تحركها بشكل عشوائى بالفعل ، ينبغى أن يكون كل جسم وكل موجة كهرومغناطيسية قد تحركت فى مسار محدد بعناية ليقودها الى مثل هذا الخط الخاص من التطور فى المستقبل •

ولعلنا نفكر الآن فيما عساه أن يحدث فى النصف الثانى من مثل هذا الكون الغريب • فبدلا من أن تحول النجوم الهيدروجين الى هليوم وتبعث الاشعاعات ، سوف ترد الاشعاعات من الفضاء السحيق بشكل مرتب بحيث تسقط على أسطح النجوم الساخنة • ثم تخترق هذه الاشعاعات طبقات النجم وتتحد تدريجيا مع بعضها لتكون أشعة جاما • ويستمر التوغل الى أن يصل كل شعاع جاما الى جوف النجم فى اللحظة الملائمة حيث يؤدى الى انشطار ذرة هليوم وتفتتها الى مكوناتها غير المستقرة • وفى ظل هذا الوضع سوف تبدو الأسطح « الساخنة » معتدلة الحرارة ، بينما ستسطع الأسطح « الباردة » • ولما كانت الأعماق الباردة فى الفضاء ستنقل ما تبقى لديها من طاقة الى النجوم ، فسوف يتبدد الظلام وتظهر السماء مضيئة ، وتبدو فيها النجوم كنقطة ضئيلة سوداء منتشرة فى خلفية منيرة « ومنهمكة » فى امتصاص الطاقة •

أما على سطح كوكب مثل الارض، فسوف يجرى كل شيء بالمعكوس، أي سوف تتدفق المياه في الأنهار من المنسوب المنخفض الى المنسوب الأعلى ، وتصعد الأمطار الى السحب ثم تختفي وتتكون القلاع الرملية على الشواطيء تحت تأثير الرياح والبحار ، ويتحول التراب الى بشر طاعنين في السن ومرضى في البداية ثم يكتسبون مع الوقت العكسي الشباب والصحة والحيوية الى أن ينتهي بهم الأمر في أرحام أمهاتهم ٠

ومن الغريب أن هذا الأمر يبدو مضحكا ، رغم أنه يمثل ببساطة وصفا للعالم الذى نعيش فيه بالفعل ولكن بترتيب زمني معكوس ، ولا يكتسى حدوثه أى وجه غرابة قياسا بممارستنا الحالية للحياة ، وما الاختلاف في الوصف الا اختلاف لغوى ٠ ومن شأن المخ البشرى في عالم معكوس زمنيا أن ينطوى على عقل وذاكرة وأحاسيس مقلوبة ، فهو سوف يتذكر المستقبل ويتكهن بالماضي ، وبالطبع لن تنقل كلمات ذلك الانسان المعني ذاته الذى نفهمه حاليا منها ٠ ويمكن القول باختصار ان عالم هذا الانسان سيبدو له تماما على النحو الذى يبدو عليه عالمنا بالنسبة لنا ــ ومرة أخرى ، لن يتضمن هذا العالم أى شيء غريب ٠

ولعل الشيء العجيب في المسالة أن عالمنا ذا الزمن « التقدمى » سيتحول الى عالم ذلك الانسان ذى الزمن « الرجعى » (أو العكسى ، حيث ان هناك تناظرا تاما) ٠ ويقتضى مثل هذا التحول ــ على نحو ما أشرنا اليه آنفا ــ درجة خارقة من التعاون بين عدد لا نهائي من الذرات ٠

وعندما طرح توماس جولد هذه الفكرة في البداية كان يتحدث على أساس أنها تجرى في اطار نموذج فريدمان للكون العائد الى الانكماش ٠ ويتسم هذا النموذج بان كل شيء قابل للانقلاب فيه ، حتى التمدد الكونى ذاته، بحيث يبدو نصفا الدورة متماثلين تماما بالنسبة للمعايشين لهما ٠ وسوف يكون من شأن كل واحدة من فئتي السكان أن ترى النصف الخاص بها من الكون هو النصف « الأول » ــ أو الجزء المتمدد ــ وسوف تفترض أن الكون ، في مرحلة الانكماش « السابقة » كانه « بالفعل » كان في حالة تقلص ، ولكن السكان كانوا يرون كل شيء يجرى « بالراجع » ، وذلك لأن الديناميكا الحرارية وسائر مظاهر عدم التناظر الاخرى ستبدو مقلوبة ٠ وبالطبع فليس من الفئتين من هو مصيب أو مخطيء من حيث تقريره للأولوية الزمنية ٠ فمن الخطأ أن يعتبر المرء أن واحدا من الانفجارات العظيمة هو « البداية » والآخر هو « النهاية » ، بل انه يمكن اعتبار كل منهما بداية ٠٠ فنحن لا نعلم على سبيل المثال في أى من نصفى مثل هذا الكون نعيش الآن !

ولاشك أن نموذج عالم متسم بتناظر تام ينطوى على شئ جذاب ، ولكن هناك مشـــكلة واحدة : هل يتماشى مثل هذا الاحتمال مع ما لدينا من معارف بشأن المنظومات الطبيعية ؟ ان من خصائص الكون المتنـاظر زمنيا ان الأسباب فيه قد تاتى من المستقبل مثلما انها تاتى من الماضى .. فقد نحدث أشياء الآن لأن شخصا ما سيقرر ذلك بعد مضى ملايين السنين ! ومن شأن الضوء النجمى المنبعث من « النصف الآخر » من الكون صوب مستقبلنا ، أن يصلنا الآن ولكن بشكل زمنى رجعى، فيبدو بذلك اشعاعا متقدما بدلا من متأخر . ومن المحال أن نرى هذه النجوم فى المستقبل لانه بدلا من أن يسقط الضوء على أعيننا فيحفز حاسة البصر ، سيحدث العكس تماما ، أى اذا نظرنا الى مثل هذا النجم أرسلت اعيننا الضوء صوبه بدلا من أن تستقبله منه . ولاشك أن مثل هذه الظاهرة تتسم بعدم الوضوح .

ولا يقف الأمر عند عجزنا عن رؤية هذا العالم المقلوب فى المستقبل، بل انه ليس بمقدورنا كذلك الاتصال بأهله . والسبب فى ذلك هو أنهم سوف يكونون يعيشون ويفكرون ويستنتجون بطريقة عكسية بالنسبة لنا ، وان ما نرى انه معلومات ، سيكون بالنسبة لهم بمثابة انتروبيا .

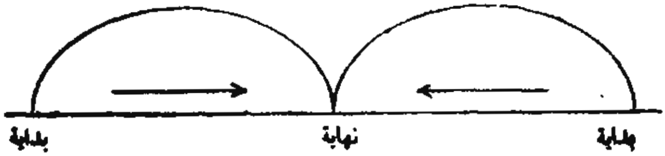
واذا كانت امكانية انتقال الاشعاع من نصف مثل هذا الكون الى نصفه الآخر قـائمة ، فمن شـأن ذلك أن يقصى احتمال أن يأتى التبدل فجائيا . ولذلك تكهن جون ويلر بحدوث انقلاب تدريجى ـ على غرار التبدل المدى فى المحيطات ـ تتباطأ فى اطاره مظاهر عدم التناظر الزمنى حتى تتوقف تماما ، ثم تبدأ دورة الرجوع . واذا كان الامر كذلك فلابد أن تكون هناك من الآن بعض المؤشرات الدقيقة الملموسة الدالة على احتمال حدوث « الانقلاب المدى » فى وقت ما فى المستقبل البعيد . ولقد أخذت هذه الفكرة بدرجة من الجدية حتى ان البعض فكر فى اجراء تجربة واحدة على الأقل بغرض محاولة وصد مثل هذا التغير الدقيق فى مسلك الاشعاع. وتتمثل أساسا التجربة (التى فشلت فى رصد أى منعطف مدى) فى البحث عن موجات ميكروويف كهرومغناطيسية واردة من المستقبل .

واذا كان الكون المتبدل زمنيا يعد نوعا من الفضول الفكرى المثير الذى ينم عن الخيال الخصب الذى يتمتع به علماء الكونيات ، فربما كان من الأفضل عدم المبالغة فى أخذه بمأخذ الجد.ومع ذلك فان احتمال أن يكون من الوارد أن تعكس الاشياء مجراها ليبعث على التكهن بأن الزمان ذاته قد يكون دوريا . ولقد افترضنا فى مناقشاتنـا حتى الآن أن طبوغرافيـا الزمن تاخذ شكل خط مستقيم مع تتـابع جلى للأحداث (ولا يهم فى

اى اتجاه هو) ، ولكن ماذا لو أن طبوغرافيا الزمان تأخذ شكل دائرة بدلا من خط مستقيم ؟ ان مثل هذه الطبوغرافيا تبعث على وجود كون ذى زمان ترددى ·

وترجع فكرة العالم الترددى الى عصر أرسطو على الأقل · ثم جاءت بعد ذلك بكثير نظرية النسبية العامة ، وأبرزت عددا من الأوضاع التى يتصل فيها فيما يبدو التاريخ المستقبلى للأشياء بماضيها · غير أنه لم يتضح مطلقا حتى الآن مدى ما يمكن أن تعنيه هذه الأوضـاع فى الواقع الطبيعى · ولذلك فان وقع مثل هذه الاحتمالات على الفلسفة يكتسى قدرا كبيرا من الحيرة · ولا مجال للارادة الحرة فى كون يتسم بزمان مغلق ، فلا يمكن أن تتغير ظروف منظومة ما حسب المشيئة، لأن مستقبلها سيكون هو نفسه ماضيها ، وبالتالى ترتهن حالتها الحالية بمسلكها المستقبلى ، وهذا على وجه التحديد هو ما نسعى الى تغييره !

ولو كان مثل هذا النوع من الكون على درجة من التعقيد ، ويتضمن عددا كبيرا ومتنوعا من التفاعلات ، لما كان هناك على الأرجح احتمال أن نجد مثـل هذه القيود على مسـلك المنظومات الطبيعية · ويقتضى الأمر بالطبع أن يتسم هذا الكون بالتناظر الزمنى حتى تكون هناك فرصة لأن « يرجع » الى حالته الابتدائية · ولو أن نموذج (جولد) يتضمن قدرا كافيـا من التفاعـلات والتداخلات المعقدة ، فمن المشكوك فيه أن تمر الظواهر العنيفة المميزة له بدون أن يلحظها أحد · وقد يكون من الأفضل ازاء ذلك أن نفترض وجود دورتين : دورة تمددية ودورة انكماشية ، على أن يتخذ عدم التناظر الزمنى فى واحدة من الدورتين اتجاها معينا ثم ينقلب هذا الاتجاه فى الدورة الأخرى· وليس هناك « بداية » أو « نهاية » فى مثل هذا الكون ، ولكن نفترض اننا « سنبدأ » بالانفجار العظيم الذى نشأ به كوننا · ويعد الكون حاليا فى مرحلة تمدد ، وسوف يصل مع الوقت الى حد أقصى من الحجم يعود بعده الى الانكماش حتى يصل الى انفجار نهائى من شأنه أن يعصف بكل البنيات والمعلومات · وتدخل المحتويات المادية الدورة الجديدة من التمدد والانكماش ، بعدم تنـاظر معكوس الاتجاه ـ أى أن الوقت سيجرى بالراجع بالنسبة لنا · وفى نهاية هذه الدورة المعكوسة زمنيا يقع انفجار عظيم آخر من قبيل ذلك الذى جرى فى ماضينا · ولا يمكن لأى شئ ذى تبعات أن يصل الى الجزء الخاص بنا من الكون ، من هذا الجانب ذى الزمان المعكوس · غير انه من شأن الضوء النجمى المتراكم أن يظهر فى الانفجار العظيم على هيئة اشعاع، فيما يمكن أن يعد على الصعيد الطبيعى بمثابة الـكون · وتفيد بعض الحسابات البسيطة بأن هذا الاشعاع من شأنه أن يسبب خلفية حرارية تصل فى وقتنا هذا الى ثلاث درجات ·



الشكل (٦ ـ ٥) الكون الترددى • تجرى العمليات الطبيعية فى واحدة من الدورتين فى اتجاه وفى الدورة الأخرى فى الاتجاه المعكوس ويجرى الزمان فى دائرة مغلقة •

الباب السابع

الجنس البشرى فى الكون

٧ ـ ١ وقع مفاهيم المكان ـ الزمان على المجتمع

يعتبر الجنس البشرى حيوانا اجتماعيا ، ولا يستثنى من ذلك العلماء • وتدخل عملية وضع النظريات العلمية فى اطار عمل اجتماعى وثقافى له جوانب خلقية ودينية واقتصادية وسياسية • ولاشك أن الأساس الفكرى لاى نموذج علمى للمكان والزمان والكون يتأثر بالضرورة بالصورة الموجودة من قبل لوضع الجنس البشرى فى الكون •

وفى المقابل ، فان ما تحقق من تقدم عملى ونظرى فى الفهم العلمى لفيزياء المكان ـ الزمان والكون ، له وقعه على المجتمع ، شأنه فى ذلك شأن أى نشاط فكرى بشرى آخر• ولم يحظ هذا التقدم دائما بالمصداقية الكاملة التى تؤهله للدخول فى النبع الرئيسى للمعرفة • وأحيانا ما كان وقع النماذج الجديدة للكون يثير درجة من الاستنكار والنفور حتى انها كانت تلقى معارضة شرسة قد تصل الى حد العنف ، مثلما حدث فى الثورة الكوبرنيكية •

وكان الناس قد اعتادوا الرجوع الى الدين للرد على أية أسئلة تتعلق ببنية الكون وتطوره وخلق الأشياء وأقدارها • وكانت الاكتشافات العلمية تدخل عادة فى مواجهة مع الآراء الدينية ، وكثيرا ما تعرض العلم لشتى صور الهجوم ، وكان واحد من أوجه النقد التى يتعرض لها التفسير العلمى لمثل هذه الموضوعات الجوهرية هو طبيعته التجريبية • ولما كان الدين يقوم على الايمان والعقيدة فليس من الوارد أن يتطور التفسير الدينى حس ـ ـ ـ تسفر عنه التجارب من نتائج • أما العلم فهو يقوم أساسا على الملاحظة والاختبار . ر ن ثم دائما ما تطرأ تعديلات على وضعه وفقا لنتائج التجارب والشواهد ، وهذا هو مكمن فائدته • ولا تشكل مسألة التعديل المستمر فى الآراء العلمية نقطة ضعف ، بل بالعكس ، فهى مصدر قوته • فالعلم ، شأنه فى ذلك شأن الجنس البشرى ، يتطور صوب صور أكثر تعقيدا ، وبالتالى أكثر قوة •

والواقع أنه من النادر (فى العلوم الطبيعية على الأقل) أن تحظى نظرية ما بقبول تام ثم يتضح بعد ذلك أنها خاطئة بالمعنى الحرفي للكلمة • فها هى نظريات نيوتن للميكانيكا ، ونماذج المكان والزمان المستنبطة منها، وقد خدمت بكفاءة على مدى مائتى عام أو يزيد ، ومازالت مستخدمة حتى يومنا هذا • وكون أن نظريات النسبية وميكانيكا الكم قد نسخت هذه النظرية السابقة ، فهذا لا يعنى أن نيوتن كان على خطأ ، وانما يفيد بأن حدود صلاحية نظرياته صارت معروفة • ويؤكد ذلك أن كلا من نظريتى النسبية وميكانيكا الكم تتضمنان الميكانيكا النيوتونية بصورة تقريبية ، وان كانت تلك الاخيرة تنطبق بكفاءة بالغة على الأمور اليومية المعتادة فى العالم • فلا أحد يفكر ولو للحظة واحدة أن يستخدم النسبية العامة فى حساب مسار طائرة على سبيل المثال •

ومن شأن العلم أن يطور دائما الوصف الرياضى للطبيعة الى الأفضل ، أما المجتمع فهو يعكس هذا التطور فى اطار المنظور المتغير المتمثل فى أن النظريات الجديدة بشأن المكان والزمان والأكوان تأتى بالجنس البشرى بمكان فى الكون • وربما كان هذا الوقع الاجتماعى هو أهم سبب يجعل الانسان يواصل أبحاثه فى هذا الميدان • وقد ظل المجتمع لآلاف السنين يقوم على الدين ، ولم تصدر خلال هذا الزمن أية اجابات شافية بالنسبة لما كان يدور من تساؤلات حول هذه الموضوعات الكونية• وكم اندلعت من معارك وعمليات قمع وقهر وبغضاء عندما عملت الجماعات الدينية على فرض معتقدات معينة على سائر المجتمع ! • وعلى النقيض من ذلك فان المجتمع القائم على العلم ، رغم انه لم ينشأ الا منذ أعوام قليلة فى عمر التاريخ ، فقد أوجد اجابات بسيطة للعديد من الأسئلة الساخنة التى عجز طويلا أهل الدين عن حلها ، وذلك دون أن تندلع حروب ولا قهر ولا بغضاء فيما بين أنصار الآراء العلمية المختلفة ، لأن العلم لا يتعامل مع العقائد ولكن يقوم على الحقائق • وان بناء نموذج للكون لا يحتاج عقيدة ولكن يحتاج تلسكوبا• ولو ثبت أن شيئا ما خاطىء فهو خاطىء

وقد شهدت السنوات القليلة الماضية انهيارا للثقة فى العلم والتفسير العلمى للطبيعة ، كما شهدت فى الوقت ذاته انهيارا للفهم التقليدى للدين • غير أن هذا الانهيار الأخير أسفر عن نشأة صور عديدة وغريبة ومتنوعة من النظم والمعتقدات الرجعية ، فحلت الخرافات من جديد محل المنطق • وكثيرا ما تلجأ الطوائف والجماعات الدينية الى كنس الأفكار والمفاهيم العلمية بأنواعها المختلفة ، ثم تفريغها بعد ذلك فى سفسطة علمية كهنوتية زائفة • ويشهد العالم الغربى عودة الى الاهتمام

بالسحر والشعوذة والأطباق الطائرة والاتصالات الروحية • وقد استغلت الجماعات الدينية المتطرفة الغرائب الحقيقية التى تتسم بها بعض الظواهر الطبيعية ، ونبذت التفسيرات المنطقية واستبدلت بها مجموعة من الأساطير والخزعبلات وضعتها على هيئة خليط من الأفكار المشوشة المكذوبة ثم ألقت بها فى وجه العلم •

ولا شك أن هذا الانهيار فى المنهج العلمى ، والردة الى أسلوب التخريف الذى كان سائدا فى القرون الوسطى ، يعزى فى جانب منه الى تقلب المفاهيم فيما بين العلم والتكنولوجيا ، مما أسفر فى عقول البعض عن حركة ارتدادية ضد العلم بسبب عيوب التكنولوجيا • ويعد التلوث والحرب النووية والهندسة الوراثية وغيرها أمثلة على سوء استخدام العلم على هيئة تكنولوجيا • وقد كان من شأن السطحية الاستهلاكية التى تتسم بها الرأسمالية ، وانسلاخ الناس وعزلتهم فى مجتمع صار يعمل بالزراير ، والبنايات الشاهقة والاستعاضة عن العقل البشرى بالحواسب الآلية وافساد الكوكب بالصناعات المتعطشة للطاقة ، أن أسهمت كلها فى حدوث انقلاب مفاجىء وقوى ضد القيم العلمية • ومن المدهش أن نفس المجتمع ، المتشبع بالسلوكيات القائمة على الحصول على أعلى مقابل للتكلفة ، يناهض بشدة كافة صور البحث العلمى التى ليست لها استغلالات تكنولوجية مباشرة •

ويعد البحث فى مجال المكان والزمان والأكوان دراسة أكاديمية فى المقام الأول • وربما كانت نظرية النسبية العامة هى النظرية العلمية الكبرى الوحيدة التى ليست لها (حتى الآن) تطبيقات تكنولوجية ، ومن ثم فهى موضوع « آمن » • وأحيانا ما يكون المبرر لاستمرار البحث فى هذه الموضوعات هو أن العلم يتقدم على جبهة واسعة ، فالبحث فى مجال ما ، ينير السبيل بالنسبة لمجالات أخرى عن طريق تطبيقات عملية أكثر ملاءمة • علاوة على ذلك ، فمن شأن الاكتشافات الجديدة ، حتى لو كانت فى نطاق أكاديمى بحت ، أن تسفر فى بعض الأحيان عن تكنولوجيا جديدة • وتعد نظرية ماكسويل للكهرومغناطيسية مثالا تقليديا لذلك ، حيث انها وضعت كنظرية رياضية بحتة هدفها توحيد خصائص الكهرباء والمغناطيسية ، قادت مباشرة الى التكهن بالموجات الكهرومغناطيسية التى فتحت الطريق أمام الاتصالات اللاسلكية والراديو ••• الخ •

ورغم أن هذا الرأى صحيح بالتأكيد ، يرى المؤلف انها حجة فى غير موضعها • فالمبرر الصحيح للبحث الأكاديمى هو المعرفة وليست التكنولوجيا • ويعد فهم الانسان للكون هو أقوى دافع لاستمرار العلوم•

ومما يبعث على الأسف أن مجتمعنا الحديث القائم على الوسطية يضحى بالمعرفة فى سبيل العائد • ومع ذلك فمازالت المعرفة هى أكثر شيء يميز الانسان عن سائر المخلوقات • واذا لم يكن من شان المجتمع أن يلفظ العلوم فى سلة واحدة مع التكنولوجيا ، فلابد من توجيه قدر كبير من الاهتمام للمعرفة والفهم •

وفي المجتمعات ذات الموارد المحدودة عادة ما تكون مسالة وضع المجهود البحثى فى مكانها الصحيح فى ترتيب الأولويات عملية صعبة • فهل هناك بالفعل أى سبب يبعث على مواصلة البحث فى موضوع بالغ الخصوصية العلمية كمسألة بنية المكان ـ الزمان ؟

ومن السهل دائما أن يتصور المرء أن العمل قد بلغ مداه • وكم ساد اعتقاد ، قبيل اكتشاف نظريتى النسبية والكم ، بأن علم الفيزياء قد صار مستهلكا بشكل أو آخر ! • وكان يخال أن النظريات الموجودة تغطى معظم الظواهر المعروفة ، باستثناء بعض الأشياء الشاذة التى لم تكن فى ذلك الوقت تتوافق معها • وليس بوسع المرء أن يعرف ماهية الاكتشافات الكبرى التى ينطوى عليها المستقبل لأنه ليس من شأن النظريات الجارية أن تبعث على التكهن بحدود صلاحيتها • فلم يكن هناك من سبب يبعث على توقع فشل الميكانيكا النيوتونية عند تطبيقها على حالة الذرة •

أما النظرية الحالية بشأن المكان ـ الزمان فهى مختلفة فى هذا السياق، حيث « تتنبأ » فى الواقع نظرية النسبية العامة بحدود صلاحيتها وبمواضع فشلها ، وهى ما تعرف باسم الفذاذات • وتعد هذه المواضع هى حدود المكان ـ الزمان التى لا تنطبق عندها نظرية النسبية ، ولذلك لابد من نظرية جديدة ومن نموذج جديد ، وهذا يعنى أننا لم نفرغ بعد من اكتشاف كل أبعاد علم الفيزياء • أما عن ماهية النظرية الجديدة ، فتلك مسألة حدسية بحتة • وقد يصل الأمر بتلك النظرية الى التخلى تماما عن مفاهيم المكان ـ الزمان ، بل قد يكون من شأن مجتمعات المستقبل الا تستخدم بالمرة هذه المصطلحات • وعلى أية حال ، فالشيء الأكيد حاليا هو أننا سنكون كمن يدفن رأسه فى الرمال لو تجاهلنا مسألة تحدى الفذاذة •

٧ ـ ٢ الحياة فى الكون

ولقد كان تطور رؤية الانسان للمكان ـ الزمان والأكوان على مدى مئات السنين القليلة الماضية مصحوبا بمفاهيم متغيرة بشأن مكانة البشر فى الكون • وكانت الثقافة الغربية فى عصر ما قبل كوبرنيكوس تضع الانسان فى قلب كل شىء • وكانت الأرض ، التى وجدت لخدمة الانسان، بمثابة المحور الذى تدور حوله عجـــلات الكون • ولم يكن لبنيـة الكون برمتها من هدف سوى بقـاء الانســان الذى يعد بؤرة كافة الأنشـطة الطبيعية وفوق الطبيعية •

واذا كان من الصعب التزحزح عن الفكرة الأنوية المتعلقة بمكانة الانسان على الارض ، فان الأرض ذاتها لم تعد تحظى بأية خصوصيه ، بل صار وضعها نمطيا يتماثل من زوايا عديدة مع وضع كل أجزاء الكون • ولم تعد الشمس ، بكواكبها التسعة نوعا فريدا من النجوم ، وهناك ملايين من النجوم المماثلة لها متناثرة فى المجرة • ولم تعد مجرتنا كذلك نوعا فريدا من المجرات ، فهناك ملايين من المجرات المماثلة منتشرة فى الكون المحسوس • واذا كانت شمسنا ومجرتنا على هذا النحو من النمطية ، فهذا يبعث على أن نتصور أن كوكبنا ومحيط حياتنا ومجتمعنا انما تعد هى الأخرى سمات نمطية للكون • ومن منطلق هذه الرؤية للأرض فى هذا المنظور الكونى صار العلم الحديث يرى « الحياة » كواحدة من مراحل تطور التنظيم فى الكون • فلقد تكونت الذرات من كرة اللهب الأولية • ثم تكونت النجوم التى احتضنت عملية تطور النوى المعقدة • ثم شهدت المناطق الأكثر برودة حول النجوم تكون الجزيئات التى تتسم ببنيتين أكثر تعقيدا • وتأتى المــادة البيولوجية كخطـــوة تاليه فى التنظيم الميكروسكوبى للمادة • ويتضح من هذه النظرة الحديثة أن الحياة نشأت بطريقة طبيعية من المادة الخام التى انتجتها النجوم • وأن نتخيل أن تلك السلسلة مقصورة على الأرض لهو عودة متغطرسة للاعتقاد الأنوى الذى كان سائدا فى عصر ما قبل كوبرنيكوس • ورغم علمنا بأن المناطق البعيدة فى الكون تماثل المحيط القريب منا من حيث الفلك والفيزياء والكيمياء ، مازال القول بأن المناطق الأخرى من الكون لها نفس السمة البيولوجية كمنطقتنا ، يثير قدرا كبيرا من الجـدل • ويرجع ذلك فى جانب منه الى انه لم يحدث مطلقا أن رصدت أية حياة خارج الأرض ، وليس ذلك فحسب ، بل حتى لو كان هناك مثل هذه الحياة فسوف تكون مسألة اكتشافها بالغة الصعوبة •

ولو صح أن الحياة ظاهرة كونية عامة فسوف يؤدى ذلك الى تغير جذرى فى نظرتنا الشاملة لوضع الجنس البشرى فى الكون • ولا شك أن حجم ما سيطرأ من تعديل فكرى فى هذه الحالة لن يقل عما جرى بعدما تكشف فى عصر ما بعد كوبرنيكوس ، من أن الأرض كجرم فلكى ما هى الا مجرد بقعة لا قيمة لها • فهل هناك احتمال لأن تكون الأرض النابضة بالحياة شيئا لا قيمة له كذلك ؟

قد يكون مفيدا أن ندرس بعض أسباب ما تتسم به البيولوجيا من طبيعة مضللة • أولا : تبعث الملحوظات المذكورة آنفا بشأن توحد الفيزياء والكيمياء فى كل مكان ، على التكهن بأن الحياة ان وجدت ، فسوف تقوم على أساس النموذج الأرضى ، وبالتالى لو أن الحياة على الأرض مفهومة جيدا يمكن التكهن بحالتها بعيدا عن الأرض • وكل ما هو مطلوب هو توفر بيئة ملائمة للنشاط البيولوجى • وترتهن البيولوجيا الأرضية بحالة عدم التوازن المستقر فى الديناميكا الحرارية ، الناجمة عن قرب الأرض من مصدر ضخم للانتروبيا ــ وهو الشمس • ويمكن القول بشكل تقريبى عام اننا نعيش فى ظل درجة حرارة متذبذبة • ومن الصعب تصور وجود حياة فى ظل ظروف مختلفة•والواقع ان المشتغلين بالفلك ما كان لهم أن يروا المادة البعيدة لولا أنها فى حالة عدم توازن•وقد تحدثنا باسهاب فى الأبواب السابقة عن حالة عدم التوازن البالغ التى تظلل الكون كله ، ومن ثم هناك بلا شك تذبذب حرارى حول هذه الأماكن البعيدة • علاوة على ذلك هناك مشكلة الاستقرار • فالحياة لا تحتاج عدم التوازن فحسب ، وانما تحتاج أيضا زمنا • فلقد استغرق الأمر ثلاثة بلايين سنة لأن تتطور البيولوجيا على الأرض من الرواسب الطينية الأولى حتى الجنس البشرى • وتمثل هذه المدة نسبة كبيرة من عمر الشمس • ومن شأن أى تغير طفيف فى شدة اضاءة الشمس أن يأتى بتبعات رهيبة على الميزان البيئى الدقيق الذى تقوم عليه أكثر صور الحياة الأرضية تعقيدا • ويفيد علم الفلك الحديث بأن الشمس تعد فى حالة استقرار فائق • ورغم ان مطلبنا الحيوى من الشمس هو عدم التوازن الذى تحدثه فى المحيط حولهاونتيجة تدفق كميات هائلة من الاشعاعات منها ، فان هذا التدفق لا يمثل أى خلل يذكر فى بنيتها الداخلية • وتستغرق رحلة الفوتون من الضوء الشمسى فى المتوسط ثمانى دقائق لتصل من سطح الشمس الى الأرض • أما انتقاله من جوف الشمس الى سطحها فهو يمتد الى مائة الف سنة ! ان ذلك يعنى أن عدم التوازن فى الديناميكا الحرارية فى المحيط الشمسى • لا يمثل بالنسبة للشمس سوى تسرب كمية بالغة الضآلة من الطاقة من سطحها • ليس هناك اذن تعارض بين عدم التوازن فى الديناميكا الحرارية والاستقرار طويل الأجل • صحيح أن النجوم تمر قرب نهاية عمرها بمراحل من

النشاط العنيف وعدم الاستقرار ، ولكن هناك نسبة كبيرة من النجوم ، مثل الشمس ، ظلت تشع بانتظام لبلايين السنين وكلها تصلح اذن للابقاء على الحياة من حولها ٠

وعلاوة على مطلب الديناميكا الحرارية ، لابد من وجود مواد خام اساسية لقيام الحياة ٠ ويضاف الى ذلك أن العمليات الكيميائية الدقيقة اللازمة لبدء التجمع التلقائي للجزيئات العضوية بالغة التعقيد ، قد تفرض قيودا صارمة على نوع البيئة الملائمة للبيولوجيا ٠ وقد شهدت سنوات ما بعد الحرب تقدما كبيرا فى فهم الظروف الفيزيائية والكيميائية التى تتكون الحياة فى ظلها ٠ ففى عام ١٩٥٣ جرت فى معامل جامعة شيكاغو تجربة مدهشة،حيث عمل ستانلى ميلر (Stanley Miller) وهارولد أورى Harold Urey على محاكاة الظروف التى يعتقد انها كانت سائدة على الأرض قبل ثلاثة أو أربعة بلايين سنة ٠ واستمرت التجربة بضعة أيام تمكن فى نهايتها الباحثان من الحصول على كميات كبيرة من الجزيئات العضوية المهمة ٠ ورغم أن ما تحقق من نتائج يبعد كثيرا عن تكوين مادة حية ، فان هذه التجربة ، وما تلاها ، شكل سندا لجبهة النضال المدافعة عن الرأى القائل بأنه لو توافرت مجموعة كبيرة من الظروف،فسوف تتكون سريعا كميات كبيرة من كتل البناء الجزيئى التى تسبق نشأة الحياة ٠ وتكمن أهمية هذا الاكتشاف فى أن كافة صور الحياة الأرضية ، من البكتيريا الى الانسان ، تتكون من تآلفات بين عدد صغير من مثل هذه الكتل ٠ وقد يكون من العسير ترتيب تجربة معملية ترمى الى أن تتكون تلقائيا ولو أدنى صورة من صور الحياة على مدى أسبوع أو حتى عقد من الزمان ، ولكن العديد من علماء الكيمياء الحيوية يعتقدون بدرجة تقترب من اليقين أن التجربة لو امتدت لبلايين السنين فسوف يتحقق مثل هذا الحدث ٠

وثمة رأى يقول ان المرحلة الانتقالية من كتل البناء الجامدة الى أول شىء حى قابل للتكاثر ذاتيا ، تفوق كثيرا فى تبعاتها البيولوجية كل مراحل التطور التالية من الكائنات الحية البدائية الأولى وحتى كل صور الحياة المعقدة التى تعمر الآن سطح الأرض ٠ وتعد الخطوة الأولى هى أضعف حلقة فى السلسلة ومازال حال هذه الخطوة بعيدا تماما عن الوضع النهائى٠ ومع ذلك ، فلو تسلحنا مؤقتا بما يشعر به علماء الكيمياء الحيوية من تفاؤل ، سوف نخلص الى أن معظم النجوم المماثلة بصفة عامة لشمسنا ، لو أن لها من الكواكب ما يتسم بنفس الطابع العام للأرض ، فسيكون من شأنها أن تنشأ عليها الحياة ٠ ومما يبعث على الأسف انه ليس ثمة وسيلة للتحقق من وجود كواكب مثل الأرض ، خارج المجموعة الشمسية ٠ بل ان الأرض ذاتها لا يمكن رصدها من أقرب نجم باستخدام تلسكوب ذى

قدرة معقولة ، بسبب ضآلة حجمها ، والعكس صحيح ، حيث لا تتيح تلسكوباتنا الارضية رؤية شيء من الكواكب الصغيرة الموجودة في المجموعات الشمسية الأخرى • وعلى أية حال ، فان مجموعتنا الشمسية ذاتها تحتوى على كواكب أخرى مماثلة للأرض (المريخ والزهرة) ، وتعزز النظريات المتعلقة بتكون الكواكب الرأى القائل بان معظم النجوم تدور في فلكها أجسام مماثلة • ولقد اكتشفت أجسام كوكبية مختلفة عن الأرض (أضخم منها كثيرا) حول بعض النجوم القريبة ، ويتكهن بعض البيولوجيين باحتمال قيام حياة في ظل الظروف السائدة هناك والتى تختلف بدرجة كبيرة عن الظروف الأرضية • وتقوم الحياة كما عهدناها على الكربون ، وهي تحتاج على الأرجح كميات كبيرة من المياه ، ولكن من الجائز ان تكون هناك أنواع أخرى من الحياة قائمة على أسس كيميائية مختلفة تماما • وأيا كان الأمر ، فان مثل هذه التكهنات لاتشكل في المرحلة الحالية أهمية كبيرة بالنسبة للقضية العامة ، أما بيت القصيد حاليا فهو هل الحياة ممتدة عبر الكون أم أنها « معجزة » عارضة يختص بها ركننا الضئيل • ولا تسهم الكيمياء الحيوية الخيارية الا بمقدار ضئيل في تعزيز الاحتمال الأول في مواجهة رجاحة الاحتمال الثانى •

ولعل السمة البارزة في التطورات الأخيرة في فهم الأسس الكيميائية للحياة هي وجهة النظر المتنامية والتى تفيد بأن المادة البيولوجية هي نوع من الحالات الفيزيائية للمادة ـ الغازية والسائلة والجامدة والبيولوجية ـ تتكون بشكل طبيعي وتلقائي في ظل ظروف ملائمة • وقد كتب عالم الفلك الأمريكى كارل ساجان **Carl Sagan** يقول : « ان أصل الحياة على الكواكب الملائمة يبدو مكتوبا في كيمياء الكون » • والحقيقة ، اننا ببساطة لا نعرف حاليا ما هى احتمالات قيام الحياة في أماكن أخرى من الكون ، ولكن ربما لو أطلقنا العنان للخيال بشيء من التفاؤل المشوب بالحذر ، لتصورنا الكواكب المأهولة شيئا عاما في الكون •

ومن هذا المنطلق نشأ علم البيولوجيا الخارجية **(exobiology)** المختص بدراسة الحياة فيما وراء الأرض • ولا يقوم هذا العلم حتى الآن الا على كم هائل من النظريات الافتراضية ! وثمة طريقان تجريبيان أساسيان مطروحان بطبيعة الحال بهدف اكتشاف أية حياة خارج الأرض • وتمثل الرحلات الفضائية المباشرة الأسلوب الأقوم في هذا المجال غير انها تعد بصفة عامة أضعف أملا • ولقد كان من شأن النجاح المبهر لبرامج الفضاء أن فجر اهتماما كبيرا بامكان القيام برحلات الى عوالم أخرى ، بل وبالأمل في مصادفة صور أخرى للحياة • ولا شك أننا لو اقتصرنا على

مجموعتنا الشمسية ذات الكواكب التسعة ، فمن المنطقى أن نفترض أن تكنولوجيا المستقبل سوف تتيح تحقيق هذا الاحتمال • صحيح ان احتمال مصادفة صور للحياة على هذه الكواكب الشـــقيقة ضئيل ولكنه ليس مستحيلا • واذا كانت المعلومات المتوافرة عن الظروف المحيطة بالمريخ (وربما الزهرة أيضا) لا تشجع على التكهن بوجود حياة عليهما ، فهى لا تتعارض معها كذلك • بل ان من العلماء من يرجح وجود كائنات حية بدائية تماما على واحد على الأقل من الكوكبين ، ولا شك أن مجرد العثور على بكتيريا واحدة على المريخ ليستحق ألف تكهن • انه سيكون بحق اكتشافا عميق الأثر فى منظورنا المتطور باستمرار للكون •

وعلى أية حال ، فاذا لم تكتشف حياة خارجية فى المجموعة الشمسية ، فلن تكون المسألة مجرد بناء صواريخ أكبر واقدر لتنطلق صوب النجوم ، فاقرب نجم يقع على بعد ٤¼ سنة ضوئية (ونشير على سبيل المقارنة الى أن القمر يبعد عن الأرض بمسافة ١¼ ثانية ضوئية) ، وبالتالى فان الرحلة اليه ، بالسرعة الصاروخية المتاحة حاليا ، ستستغرق آلاف السنين• ولا شك ان الأجيال القادمة ستتوفر لها سرعات أكبر • ولو توصل الانسان الى انتاج مركبات تقترب من سرعة الضوء• فسوف يكون من شأن عامل التمدد الزمنى أن يقلل مدة الرحلة ويتيح قطع مسافات تصل الى آلاف السنين الضوئية — عبر المجرة — خلال عمر الانســـان الفرد • غير انه نتيجة « لعامل التوأم » الذى تناولناه آنفا ، سيعود الرواد الى الأرض بعد مضى آلاف السنين على انطلاقهم ، وبالتالى سيجدون المجتمع الذى أوفدهم قد اندثر منذ زمن بعيد • وبغض النظر عن المشكلات التقنية التى ستواجه عملية انتاج وســـائل نقل فضائية تقترب من سرعة الضـــوء ، فان كمية الطاقة المطلوبة لبلوغ مثل هذه السرعة تعد بالغة الضخامة ، حيث يحتاج الأمر مليون مليون طن من الوقود لتحقيق ٩٩٪ من سرعة الضوء •

ومن الوارد أن نكتشف فى المستقبل آليات دفع جديدة (وقد طرحت بالفعل بعض الأفكار) ولكن ثمة عوامل أساسية توضح أن أية وسيلة نقل فيما بين النجوم — لو أمكن فى الأصل إنتاجها — سوف تستنفد قدرا ضخما من مواردنا الأرضية • وقد يقدم الانسان على مثل هذه المغامرة لو كان هناك دافع قوى لذلك ، كأن تكون هناك فرصة أكيدة للاتصـــال بحضارة عاقلة أخرى • ولو كانت هناك مثل هذه الفرصة فسوف تواجه الانسان مشكلة أخرى رهيبة ، وهى أين سيجد هذه الحضارة ؟ • وحتى لو كانت الحياة ظاهرة كونية عامة ، فالى أى مدى تتماثل صور الحياة فى المناطق المختلفة ، لا أحد يستطيع أن يتكهن بذلك الا بشكل خرافى بالغ

علاوة على ذلك فليست هناك طريقة تحظى باتفاق عام ، لاختبار مدى عمومية الحياة العاقلة فى الكون ٠

ولو افترضنا من قبيل التفاؤل نشأة كائنات عاقلة وتطورها على اى كوكب تسمح ظروفه بقيام الحياة ، فان التقديرات تفيد بأن عدد المجتمعات العاقلة فى مجرتنا يناهز عشرة أمثال متوسط عمر هذه المجتمعات مقاسا بالسنين ٠ وهذا المقدار الأخير ليس معروفا بالطبع ، وهو يرتهن الى حد ما بما تعنيه « بكلمة عاقل » ٠

وتنسب للمجتمع البشرى حضارة يبلغ عمرها بضعة آلاف من السنين ، وهو ما يقارب زمن دماره من خلال التكنولوجيا ٠ ولو كان هذا هو المقياس ، وكانت تجربتنا نمطية ، فربما كانت هناك عشرات الألوف من الكواكب فى المجرة تحظى بحضارات عاقلة ٠ أما لو قدر عمر المتجمعات المتحضرة بملايين السنين أو يزيد ، فسوف تكون هناك عشرات أو حتى مئات الملايين من الكواكب المأهولة فى المجرة ٠

ويبدو كل ذلك مثيرا ، ولكن تظل مسألة الى أين نتجه بنظرنا ، بلا حل ، فالمجرة تحتوى على مائة بليون نجم وحتى لو كان منها مائة مليون مهيأة لقيام حياة عاقلة عليها ، فالأمر يقتضى أن نختبر آلافا من الكواكب قبل أن يكون لدينا احتمال معقول للنجاح ، ويستوجب ذلك القيام برحلات الى كافة النجوم من هذا القبيل والتى تقع فى حدود مسافة مائة سنة ضوئية من الأرض ٠ يتبدى من ذلك أنه من الصعب مقاومة النتيجة الختامية التى تفيد بأن تحقيق اتصال حسى فيما بين الحضارات « الكوكبية » مسألة بالغة الندرة فى الكون ٠ (ومن الطبيعى ان تكون هذه النتيجة مشوبة بتحفظ وهو أن دوافع الحضارات الغريبة عنا ، والتى قد تكون متقدمة على حضارتنا بما قد يصل الى ملايين السنين ، ليست معروفة ، بل وقد لا تكون مفهومة بالنسبة لنا) ٠

وربما كان وجه الاعتراض الرئيسى على فكرة الرحلات الفضائية فيما بين النجوم هو عدم وجود أهداف مخططة مباشرة لها ٠ ولقد كانت الرحلات الاستكشافية الأرضية تجرى دائما اما للاستعمار أو التجارة أو لغرض اعلامى ٠ ويمكن استبعاد الهدفين الأول والثانى فى حالة الرحلات الفضائية ، فمن الحماقة أن يفكر أحد فى نقل شعوب بأكملها أو مواد استهلاكية لمسافات تقاس بالسنين الضوئية ٠ وهذا يعنى ان التبادل الاعلامى ، فى هذا المجال ، هو أهم هدف يمكن ان تسعى اليه المجتمعات المتحضرة ٠ ومادام الأمر كذلك فليست ثمة حاجة للانتقال الى النجوم البعيدة لتحقيق مثل هذا التبادل الاعلامى ، حيث يمكن أن يتحقق ذلك

عن طريق الاتصالات اللاسلكية على سبيل المثال • وما من شيء في الوجود يمكن أن ينتقل أسرع من الموجات الكهرومغناطيسية ، وبالتالى تعد هذه الوسيلة ، من حيث الوقت ، اكفأ أسلوب للاتصال • ومرة أخرى نجد أنفسنا نواجه مسألة الى أين نتجه ببصرنا • وقد تكون نسبة المجتمعات المتحضرة في المجرة ، التي وصلت في تطورها الى امكان الاتصال بالراديو ، ضئيلة ، مما يجعل مسألة تحديد الموقع أكثر صعوبة • غير أن من شأن أى تلسكوب راديو متوسط الحجم أن يمسح الآلاف من مثل هذه المواقع في محاولة لالتقاط رسالة من نوع ما • ويعد التلسكوب الراديو الموجود في اريكيبو في بورتوريكو هو أضخم واحد في العالم ، وتتيح امكاناته الاتصال مع أى جهاز مماثل في المجرة •

وقد جرت في السنوات الأخيرة محاولات لرصد أية اشارات راديو تكون واردة من حضارات قريبة في المجرة ، ولكنها لم تكلل بالنجاح • علاوة على ذلك فقد أرسلت اشارات من الأرض • ورغم أن الفكرة برمتها قد تشكل تبديدا للوقت والمال ، فالأمر يستحق بلا شك بعض الجهد في محاولة تحقيق مثل هذا الاتصال نظرا لأهميته الضخمة • ولكن ينبغى ألا يغيب عن الأذهان أنه حتى بسرعة الضوء فان موجات الراديو تحتاج مائة عام لكي تصل الى حضارة تبعد بمقدار مائة سنة ضوئية • وهذا يعنى أننا لن نتلقى اجابة ، بغض النظر عن احتمالات الضياع ، قبل مائتى سنة على الأقل •

ولما كان الانسان قد بدأ بالفعل في محاولة تحقيق مثل هذا الاتصال ، فلابد من مراعاة شيء ، وهو انه لو كان هناك احتمال للنجاح ، فهو يعزى الى أن متوسط عمر الحضارات التقنية يبلغ ملايين السنين • وبما أن مجتمعنا التكنولوجى لا يرجع الا لبضعة عقود ، فسوف يكون « أصبى » واحد من بين مثل هذه المجتمعات في المجرة ، وبالتالى فأى مجتمع سيبعث ردا سيكون من شأنه أن يتفوق علينا ، بدرجة تتجاوز المقارنة بل وربما الفهم والادراك ، سواء من حيث التطور العلمى أو الثقافى أو الأخلاقى • ولا شك أن المنتج الأكثر ذكاء في مجتمعهم قد لا يكون بيولوجيا بالمرة بل سيكون على الأرجح ذكاء ميكانيكيا آليا •

وقد تتسبب المعرفة المستمدة من المستقبل العلمى في الحاق المزيد من الضرر بالحياة الأرضية ، ولكن حضارة يبلغ عمرها مليون سنة لابد أنها عملت على حل المشـــكلات الاجتماعية الخاصة بها • وربما وردت الينا فقط معلومات بشـــأن تكنولوجيا جديدة ، وقد تسبقها معلومات بخصوص اقامة مجتمع جديد •

٧ ـ ٣ ما مدى خصوصية الكون ؟

ويبعث على الدهشة أن عشر سنوات من دراسة الفلك باستخدام الراديو علمت البشرية عن مسائل الخلق وتنظيم الكون أكثر مما أفادت به آلاف السنين من الدين والفلسفة · وقد يكون مفيدا أن ندرس كيف ساهم التقدم الحديث فى علم الفلك والفيزياء والكونيات فى التعرف على الصورة العلمية للجنس البشرى فى الكون ، ومقارنة هذه الصـــورة بالمعتقدات الدينية التقليدية ·

وتتمثل نظرة الانسان التقليدية للكون فى انه خلق لأغراض معينة ، فكل شيء مرتب على نحو ما هو عليه من أجل راحة الانسان وملاءمة الحياة البشرية · فهناك كثرة من المياه للشرب ومن الهواء للتنفس · وهناك الغلاف الجوى يمتص الاشعاعات الضارة الواردة من الفضاء · أما الشمس فهى ترسل الضوء وتبعث الدفء نهارا ثم تغيب عنا لنخلد الى النوم ليلا ، وهى تشع بالقدر الذى يهيىء درجة حرارة تجعل الحياة مريحة ، وكل ذلك فى اطار من الاستقرار · صحيح أن بعض الكوارث الطبيعية تحدث بين الحين والحين ، ولكن ليس فى انجلترا ! أليس كل ذلك جميـــلا بدرجة لا تصـــدق ؟

وان لمن الصعوبة بمكان أن تحدد كم هو دقيق ميزان الحياة على الصعيدين الفيزيائى والكيميائى · ولقد نشأت الحياة وتطورت على هذا الكوكب ومن ثم فقد تأقلمت مع الظروف السائدة · واذا كان العالم قد خلق على النحو الذى يخدم راحتنا · فنحن أيضا قد خلقنا بشكل يتلاءم معه · ولا أحد بوسعه أن يقطع بمدى ما يمكن أن يطرأ من تغير على الترتيبات الكونية قبل أن تصبح كافة صور الحياة مستحيلة · وكثيرا ما يتردد أن أية تغيرات طفيفة فى عدد محدود من الثوابت الطبيعية ، مثل شدة قوى التماسك الذرى ، من شأنها أن تؤدى الى تغيرات رهيبة فى ظروف الكون · فلو أن قوى التماسك الذرى هذه زادت بنسبة طفيفة لا تتجاوز آحادا قليلة فى المائة لكان من شأن الهيدروجين ـ وهو وقود الشمس وأهم عنصر لبقاء الحيا على الأرض ـ أن يتحد سريعا ويتحول كله الى هليوم فى اطار انفجار عظيم · غير أنه نظرا لعدم توافر المعلومات الكافية والملائمة بشأن مسلك المادة الحية فى ظل عدد كبير ومتنوع من الظروف ، لابد من توخى الحذر فى تقرير الاستنتاجات النهائية بشأن مدى ما يمكن ان تتسم به البيولوجيا من قلقلة وعدم استقرار فى هذا الـــكون ·

وهناك رأيان متعارضان فيما يخص وجودنا : الأول هو أن الكون قد خلق بطريقة خاصة جدا تتيح تطور الحياة والجنس البشرى • أما الثانى فهو أن الأشياء لو كانت على غير ما هى عليه لما كان لنا وجود من الأصل • غير أن الرأيين يتماشيان مع القول بأن وجود الحياة « يقيد » الكون بضرورة أن تكون له سمات معينة بدرجات متفاوتة • ومن وقت لآخر يخرج علينا بعض العلماء ويصفون وجودنا ذاته بأنه « اتساق » مع سمات معينة فى الـــكون •

ولعلنا ، كمثال أول على هذا المنطق ، نذكر بأن محتويات هذا الكتاب تناولت باسهاب طبوغرافيا الكون وبنيته الهندسية وعدم التناظر فيه ، ولكن لم يذكر شىء عن حجمه • ومن شأن ضخامة الكون العظيمة أن تثير الرهبة • فهناك بلايين من النجوم المنتشرة فى الفضاء وتفصل بينها مسافات شاسعة تقاس بالسنين الضوئية ، وتتجمع هذه النجوم على هيئة مجرات مستقلة متباعدة عن بعضها بملايين السنين الضوئية • وقد يساعدنا على تصور المقاييس أن نتخيل أن مدار الأرض حول الشمس ، الذى يناهز قطره ٣٠٠ مليون كم ، قد تقلص الى حجم قطعة العملة المعدنية الصغيرة وفى مركزها بقعة ضئيلة تمثل الشمس • وبالنسبة والتناسب سوف يقع أقرب نجم على بعد كيلو مترين • أما المجرة فسوف تكون كبيرة بدرجة أن تغطى سطح الأرض • وسوف تقع مجرة أندروميدا ــ وهى المجرة الوحيدة التى يمكن بالكاد ان ترى بالعين المجردة من الأرض ــ على بعد نصف مليون كم ، أى نحو مكان القمر • وفيما يتعلق بأبعد المجرات التى ترصدها أقوى التلسكوبات على الأرض ، فسوف تصل مسافتها الى بليون كم • وقد ذكرنا أن كثافة الكون تعد بالغة الضآلة ولا تزيد فى المتوسط عن ذرة واحدة لكل الف لتر من الفضاء • ولو أن كل المادة فى الكون تركزت فى فقاعات بكثافة الماء فسوف يصل حجم ما تحتله هذه الفقاعات الى ١٠ ــ ٢٨ من ١٪ من الفضاء المتاح !

فلماذا يتسم الكون بكل هذه الضخامة ؟

ولعلنا نتذكر فى البداية أن الكون ليس ثابتا على هذا الحال ، بل انه يتمدد • وهناك دلالات قوية على انه كان فى الماضى فى حالة كثيفة للغاية • ويعد التمدد ضروريا ليحول دون سقوطه الى داخل ذاته ليؤول الى نقطة الفذادة • ويتباطأ تمدد الكون (على الأرجح) على مهل ويمعدل يرتهن بكثافة المادة التى تبعث على تناقصه • أى لو كان الكون أكثر كثافة لجرى التباطؤ بشكل أسرع كثيرا •

وهذا يعنى أن قيمة الكثافة الحالية للنجوم حسبما نقدرها ، مرتبطة بعمر الكون • وليس هناك من بين نماذج فريدمان للكون - التى وصفناها فى الباب الخامس - نموذج بسيط يتيح على سبيل المثال وجود نجوم قريبة من بعضها لا يفصل بينها سوى بضعة أيام ضوئية فى كون يصل عمره الى عشرة بلايين سنة •

وهنا تبعث البيولوجيا •• ويحتاج التطور البيولوجى بلايين السنين فى الواقع لكى يصل فى النهاية الى الكائنات العاقلة (الانسان) • فالتطور هو عملية تدريجية بالغة البطء وتتضمن سلسلة ضخمة من البدايات الفاشلة ، وهى ترتهن بعدد فائق من الحوادث الدقيقة التى تتوالى وتنتقل من جيل لآخر •

ومن ناحية أخرى ، تقوم الحياة على الأرض (وأية حياة أخرى على الأرجح) على الكربون • وقد تكون هذا الكربون نتيجة اتحاد عناصر أخف فى النجوم الثقيلة منذ بضعة بلايين من السنين • ويستغرق الأمر ملايين السنين لكى تنشأ النجوم ويتكون الكربون بداخلها ، ثم تنفجر • ومن ثم لو كان عمر الكون أقل كثيرا من بلايين السنين لما كنا خلقنا بعد لنراه • الكون اذن على هذه الدرجة من الضخامة لأنه على هذه الدرجة من القدم • وهذا يعنى أن وجودنا ذاته يقتضى أن تكون النجوم على هذه الدرجة من التباعد الشاسع • وانه ليبعث على السخرية أن الظروف اللازمة لنشأة الحياة العاقلة ، تعد هى ذاتها المسئولة عن الحيلولة دون وجود اتصال حسى بين هذه العوالم العاقلة •

وهناك برهان آخر على مدى ضخامة الأرض ، وهو هذه الأعداد الفائقة من النجوم فى السماء • فبنظرة خاطفة الى ليل السماء يخال للمرء أن هناك الملايين من النجوم ، غير أن ذلك انطباع خاطىء ، حيث لا يمكن لشخص متوسط فى قوة ابصاره أن يحصر أكثر من بضعة آلاف نجم على أقصى تقدير • أما باستخدام التلسكوبات البصرية العادية ، فيمكن رصد بلايين البلايين من هذه النجوم • ولو جمعنا نظريا عدد الذرات فى كل منها لوصل الى رقم يفوق الادراك ويقدر بنحو ١٠ ^٨٠^ • فلماذا هذه الضخامة ؟

ويثير حجم الكون فى هذا السياق : بعض الحيرة • ففى نماذج فريدمان المتمددة أبديا لا حدود لحجم الكون ، الأمر الذى يستوجب وجود عدد غير محدود من النجوم المستمرة فى انتشارها للخارج بشكل مستديم وفى كافة الاتجاهات • غير انه ليست هناك وسيلة بصرية تمكننا من رؤية

كل هذه النجوم . وحتى لو كنا نعيش فى كون من نوع النموذج المعاود للانكماش ، والذى يتسم بحجم محدد ، لما كان فى وسعنا فى هذا الوقت أن نرى الا جزءا من هذا الحجم مهما كانت قدرة التلسكوبات المستخدمة . ويرجع السبب فى ذلك الى أن أقصى مسافة يمكن أن يراها المرء فى كون يبلغ عمره عشرة بلايين سنة ، هى عشرة بلايين سنة ضوئية ، لأن حد الابصار يقف عند الحدث الأفق على نحو ما ذكرنا فى القسم (٥ — ٣) ، والحدث الأفق يبتعد عنا بسرعة الضوء ، اذن كلما كان الكون أقدم كان الحدث الأفق أبعد . وهذا يعنى أن العدد الفائق من النجوم فى الكون يعزى الى المسافة الكبيرة التى يبعد بها الحدث الأفق ، والتى ترتهن بدورها بعمر الكون .

وهناك سؤال أساسى آخر مشابه للسؤال السابق وهو : « لماذا يبدو الكون مظلما ؟ » وقد أجيب على هذا السؤال فى الباب الخامس فى سياق مناقشة تناقض (أولبرز) . غير أن ما ذكر لا يمثل فى الواقع القصة كلها، لأن الكلام كان مقصورا على الضوء النجمى. وقد بدأ الكون بانفجار ملتهب ثم أخذت درجة حرارته فى الانخفاض منذ ذلك الحين بسبب التمدد الى أن وصلت الى ثلاث درجات أو نحو ذلك ، فوق الصفر المطلق . السماء اذن ليست فى حالة ظلام تام ، ولكنها تشع ضوءا بالغ الضعف يأتى مكانه فى أقصى نطاق الأشعة تحت الحمراء فى التوزيع الطيفى . وتستخدم تلسكوبات راديو خاصة لرصد هذا « البريق الفضائى » الابتدائى . وقد يبدو انه ليس ثمة ما يبرر لماذا لم تكن درجة الحرارة ٣٠٠ درجة مطلقة (أى درجة الحرارة العادية) بدلا من ثلاث درجات ؟ وعلى أية حال ، لو كان الأمر كذلك لما كان لنا وجود . ويعزى ذلك للسببين الآتيين : أولا ، ان هذه الدرجة قريبة من تلك السائدة على الأرض ، ولا مجال لتولد عدم التوازن فى الديناميكا الحرارية ، وهو الشرط الضرورى لقيام الحياة ، الا على كوكب تزيد حرارته كثيرا على حرارة الكون بما يتيح تبخر المياه فيه . ولما كانت المياه تعد هى الأخرى ضرورة حيوية ، فلا شك أن ثمة مشكلة ما . ثانيا ، وأهم من ذلك ان مثل هذا المستوى العالى من الاشعاع من شأنه أن يمنع تكون المجرات ، وذلك عن طريق « الهيمنة » على المادة بواسطة قوة جاذبيته . وما كان للحياة أن تقوم بدون المجرات .

وقد جرت محاولات عديدة أخرى للوقوف على احتمالات التوافق بين الحياة العاقلة والسمات الرئيسية للكون . فقد طرح عالم الرياضيات البريطانى براندون كارتر Brandon Carter السؤال التالى « لماذا تعد الجاذبية على هذه الدرجة من الضعف ؟ » . ولعلنا نتذكر أن الجاذبية ، التى تقل فى شدتها عن القوى الكهربية فى الذرة بنسبة 10^{40} ، هى التى

تتحكم فى حركة الكون . وقد أثبت كارتر ، بعد أن درس تطور النجوم ، ان هذه النسبة تحدد عمر النجوم ، وأن النجوم القديمة المستقرة تعد شرطا أساسيا لقيام الحياة العاقلة .

وعلى صعيد آخر تناول ستيفن هوكينج وبارى كولينز واحدة من أكثر المسائل غموضا وأعصاها على الحل وهى « لماذا يتسم الكون بهذه الدرجة من التوحيد فى الخصائص » . وقد نوقشت هذه المسألة بطرق عديدة وأشرنا اليها بايجاز فى القسم (٥ ـ ٥) . ويرى هوكينج وكولينز أنه لا مجال لأن تنشأ المجرات وتتطور الا فى كون يتسم بمثل هذا التوحيد فى خصائصه . ويقوم هذا الرأى على دراسة للظروف الأولية على المستوى الواسع لحركة الكون ، واللازمة لاستتباب التوحيد فى الظواهر التالية .

وكمثال أخير .. فقد سبق أن أوضحنا ضرورة توافر عدم التوازن فى الديناميكا الحرارية فى الكون كشرط لوجود الحياة . ويعد عدم التناظر الزمنى فى العالم ، وهو السمة الجلية فى الحياة اليومية ، عاملا أساسيا لا غنى عنه لهذه الحياة .

ولا جدال أن هذه المناقشة تغطى القائمة التى يمكن حصرها ، لهذه الاعتبارات البيوكونية . ومن شأن دراسة أية سمات أساسية أخرى للمكان ـ الزمان أن تؤدى الى النتيجة ذاتها . ولعله من المهم أن ندرك أن وجود الحياة العاقلة فى الكون لا « يفسر » هذه السمات ، وانما هو يفيد بأنها لو كانت مختلفة اختلافا بينا عما هى عليه ، لما وجد الانسان . وقد أشرنا فى الباب السادس الى أن بعض علماء الكونيات يرون أنه ليس ثمة كون واحد ، بل العديد منها ، وكل من هذه الأكوان يتسم بمجموعة مختلفة من الظروف وربما من قوانين الفيزياء كذلك . أما السبب فى وقوع الاختيار على كون بمثل هذه السمات الخاصة (الضخامة ، وتوحد الخصائص ودرجة الحرارة المنخفضة .. الخ) ، لنعيش فيه ، فهو أن هذا هو النوع الوحيد الذى يمكن أن نعيش فيه .

واذا كانت بنية الكون على النطاق الواسع – ونعنى حجمه وما تتسم به المادة من توزيع وعدم توازن ـ تبدو مقيدة بوجود الكوزمولوجيات ، فان البنية على النطاق الصغير لها وضع معكوس . وتفيد وجهة النظر الدينية التقليدية بأن البنية المحلية ، الأرض وسمات سطحها ، والشمس ... لخ تمثل تنظيما خاصا للكون وجد مع بدء الخليقة . وعلى النقيض من ذلك يفيد العلم الحديث بأن منظومات النجوم والكواكب على النطاق الصغير قد تكونت بشكل طبيعى وتلقائى من كرة اللهب الأولية . أى أنه اذا كان الرأى الدينى يقول بأن نشأة الكون كانت تتضمن هذه البنية منذ اللحظة الأولى يفيد العلم على وجه التحديد بعكس

ذلك • فقد بدأ الكون بتوازن محلي مع ترتيب عشوائي للتحركات الدقيقة • وكانت البداية تتسم بحالة من الفوضى • ونتيجة للتمدد الكوني تشكلت تلقائيا من الفوضى بنية منظمة • ولا مجال الا أن تكون الحالة الميكروسكوبية للكون عند نشأته ، عشوائية تماما • ولم تعد ثمة ضرورة لأن يفترض المرء أن تنظيم العالم يحتاج جهة تنظيمية تعمل على خلقه بشكل خاص • فمثل هذا التنظيم يأتي بصورة طبيعية مستمدة من قوانين الفيزياء ومن تمدد الكون في ظل مجموعة بالغة الضخامة من الظروف الابتدائية الدقيقة •

ومن ثم تشكل الصورة العلمية المستنتجة انقلابا ملفتا • ولم يعد ثمة مجال لأن يعزى طابع البيئة المتاخمة لنا ، بما في ذلك وجودنا ذاته ، الى أحداث محلية خارقة بينما لا تتماشى معها بنية الكون على النطاق الواسع ، وانما يبدو الآن أن الكوزمولوجيا هي العامل الأساسي بينما يجري الوضع المحلي بشكل تلقائي • وهذا يعني أنه لو توافرت الخصائص الشاملة المناسبة لكون ما ، فسوف يشهد لا محالة تكون النجوم والكواكب ونشأة الحياة والحياة العاقلة •

ولعلنا نقول الآن ردا على السؤال الوارد في عنوان هذا القسم وهو ما مدى خصوصية الكون ، ان الكون يتسم في شموليته بوضع بالغ الخصوصية ولكننا لا نلحظ هذه الخصوصية على المستوى المحلي •

وقد تكون هذه النتيجة المتناقضة مع المذاهب العقائدية ، بغيضة الى نفس القارئ • الذي ينبغي أن يرجع الفضل في وجوده الى توزيع المادة والى الاشعاعات المنبعثة من المناطق البعيدة في الأوقات المبكرة من عمر الكون ، بدلا من الاعتقاد في أن كوكب الأرض قد خلق خصيصا لخدمة حياته • وبغض النظر عن مدى عمومية الحياة كظاهرة كونية ، سنجد من خلال هذا المنظور أن ظهور الجنس البشري في الكون انما هو حدث كوني •

لقد ابتعد العلم كثيرا عن المفهوم التوراتي لنشأة الكون • فالتوراة تقول ان الضوء والدفء، التنظيم والحياة ، كلها ظواهر انبثقت من الظلام والعدم ، وان الكون عمل من صنع الله تلبية لتحريض مسبق لبناء كيان في مكان وزمان موجودين من قبل ولكن بلا أهمية • أما المفهوم العلمي الحديث فهو على النقيض من ذلك تماما ، حيث يفيد بأن الكون بدأ بضوء مبهر وحرارة لافحة ثم انخفضت حرارته وحل فيه الظلام • وازاء النص التوراتي القائل « فليحل الضوء » جاء الرد العلمي بقول « فليحل الظلام » وذلك لأنه لا مجال للاستفادة من الطاقة الكامنة في الشمس من أجل

قيام الحياة على الأرض ، الا فى ظل كون مظلم وبارد • علاوة على ذلك ، فان المكان والزمان ذاتهما يعتبرهما علماء الفيزياء اثنين من الكيانات الطبيعية • وتوضح نظرية اينشتين للنسبية العامة كيف أن حدثى ظهور المادة وتبددها الانفجاريين يجريان على « حافة » المكان ـ الزمان • واذا كان الكون قد نشأ منذ عشرة بلايين سنة بالفعل ، وليس منذ زمن غير محدود ، فهذا يعنى أن المكان ـ الزمان قد بعث أيضا الى الوجود فى التوقيت ذاته • وتعد الفذاذة الأولى بالفعل حدثا بلا سبب مسبق حيث لم يكن هناك قبلها مكان أو زمان ـ أو أى شىء مادى على الاطلاق ـ ليحتوى هذا السبب • وأن يتخيل المرء وجود اله فى مرحلة تسبق نشأة الكون ، وأن يكون هناك ما يحرضه على صنع الكون ، لهو شىء مضلل وناجم عن خلع الصفات البشرية على الآلهة • ولا تحتاج المفاهيم من قبيل « السبب » و « التأثير » مجرد وجود « زمان » تعمل من خلاله فحسب ، وانما تحتاج أيضا وجود عدم تناظر زمنى ، غير أن الزمان ، وبصفة خاصة سمة عدم التناظر ، هما من خصائص العالم المادى ولا معنى لهما الا من بعد نشأته ، بل ومن بعد نشأته بفترة طويلة ، بعد ما تكون حالة التوازن الأولية قد تبددت نتيجة التمدد الكونى •

ولقد شهد التاريخ تطورا فى المحاولات البشرية الرامية الى ايجاد قوى خارقة تبرر بها خصائص الظواهر الطبيعية • وليست هناك أسباب واضحة لهذه المحاولات • وقد تصورت المجتمعات البدائية ، التى لم تكن لها معرفة بالعلوم الفيزيائية ، وجود آلهة من شتى الأنواع • كل منهم بقدرة معينة ، فمنهم من يجلب المطر ومنهم من يسبب الفيضانات ومنهم المسئول عن الضوء وهلم جرا • وكان الناس يسمون هؤلاء الآلهة الأوائل بالصفات البشرية ، حيث كان يعتقد ان لهم أجساما مادية يشبهون بها الانسان بينما لا تختلف قدراتهم العقلية ودوافعهم كثيرا عما يتصف به الأطفال • وكثيرا ما كان الاله يتخذ فى ذهن الناس صورة المقاتل الخارق المشترك فى النزاعات القائمة بين القبائل المحلية •

ومع تطور العلوم الفيزيائية وبزوغ عصر النهضة بدأت هذه الاعتقادات تنقشع تدريجيا من مجالات الفيزياء والفلك ، وبدأت فكرة وجود كائن له جسم انسان ويتسم بقوة خارقة ، تتوارى فى عالم النسيان، حتى ان اللاهوتى البريطانى جون روبنسون عبر عن ذلك بقوله ان الاله « الذى فوق » صار الاله « الذى كان » • ولم يترك علم الفلك مجالا لأية قوة مادية خارقة فى السماء ، وبدأت تظهر وتترعرع فكرة جديدة عن الاله بوصفه كيانا غير فيزيائى يتجاوز العالم المادى •

ورغم النجاحات المتلاحقة التى حققتها العلوم الفيزيائية فى تفسير الظواهر الطبيعية دون الحاجة لوجود مسببات خارقة ، ظل الجهل بالنظم البيولوجية والاجتماعية يفسح المجال لتصور وجود خوارق فى هذا الميدان ، فقد لا يكون الوجود الالهى ضروريا لتفسير حركة الكواكب ولكن مازال هذا الوجود حتميا عند التفكير فى نشأة الحياة · وجاءت ثورة داروين فارجعت الوجود الالهى الى الوراء بمقدار ثلاثة بلايين سنة ، تماما مثلما جاءت الثورة الفلكية وأخرجته تماما من حيز المكان · فالجنس البشرى ليس بمعجزة وانما هو نتاج عملية تطور ـ بدأت بحدث عارض بحت ـ واستمرت على مدى عصور جرت فيها سلسلة من تهيئة وتكييف الكائنات الحية البسيطة · وتعد المساعى التدريجية لحل لغز الأساس الكيميائى والفيزيائى للحياة خطوة أخرى حتمية فى سبيل تفسير العالم المادى الحى وفقا للمبادئ العلمية · ورغم أن التجارب المعملية لا تتوفر لها ملايين السنين اللازمة لتخليق مادة حية حقيقية من العناصر غير الحية ، فقد أمكن انتاج كتل بناء الحياة وفصل كائنات حية بسيطة داخل هذه الكتل · ولم تعد اذن عملية خلق الحياة شيئا غامضا · وبذلك ننتقل الى الخطوة التالية وهى وجود اله وراء الحياة · ويناصر البعض رأيا يقول ان فهم الانسان للتنظيم الاجتماعى والأخلاقى من شانه أن يبعد الاله تماما عن الشئون الدنيوية للانسان ·

ومن ثم، فان العودة بالتفكير الى الوراء ، وتصور ارتهان نشأة الكون بصنيع الله فقط لهو تصور يائس · فلقد أدت أنانية الانسان المتجلية فى اضفاء الصفات البشرية على الآلهة ، الى توالى استبعاد مثل هذا الوجود الالهى من وراء كل شيء له علاقة بالعالم المادى · وان ارجاع نشأة الكون ـ حتى لو كانت هناك واحدة ـ الى صنيع لله ، لهو بمثابة سقوط فى نفس شرك تصور وجود اله للمادة واله للحياة · وما ذلك الا عودة الى الباس الاله وضع الانسان ، وليس ذلك فحسب ، بل هو وضع الانسان الموجود فى العالم الذى ابتدعه ، بما يتسم به من عدم تناظر زمنى وترتيب زمنى للسبب والمسبب ·

ولقد أكدنا مرارا فى هذا الكتاب على مدى أهمية الزمان المادى بما يضفيه من معنى لمفهومنا الشامل للانسان والكون · ومن شان التمييز بين الماضى والمستقبل أن يتخلل كياننا كله · فنحن ننظر الى الماضى بشيء من الحنين أو الندم بينما نتطلع الى المستقبل بشيء من الخوف أو الأمل · وكل تصرفات الانسان محكومة بخبرة الماضى وتوقعات المستقبل· وبنفس الطريقة ، تعد مسالة التسبيب من نتاج عدم التناظر الزمنى · ومن هذا

المنطلق فان خلع صفة التسبيب على الله فى غياب عدم التنـاظر الزمنى أو حتى عدم وجود المكان أو الزمان أو المادة ، لهو بمثابة اضفاء صفات بشرية على الذات الالهية • ولقد أكدنا آنفا أن عملية انشاء الكون لا يمكن أن يكون وراءها سبب مسبق ، فذلك يمثل تناقضا منطقيا • ويقودنا ذلك الى مفهوم أكثر تطرفا وهو الاله الذى يتجاوز المكان ـ الزمان •

وهل يمكن عزو عملية الخلق الى أحداث تجرى بعد نشأته ، على غرار التأثيرات المتقدمة التى تتحدث عنها نظرية ويلر ـ فينمان ؟ وماذا اذن عن الأكوان ذات التناظر الزمنى مثل تلك التى تعاود الانقباض صوب « نشأة سالبة أو معكوسة » ، أو صوب الفناء • كيف يمكن أن يأتى الطرفان الزمنيان ، البداية والنهاية ، « بسبب » ما يجرى بينهما ؟

وربما كان أفضل رد على هذه الأسئلة هو عدم الاعتراف بعلاقة كل من السبب والتأثير بالموضـوع ، فهما فى المقام الأول مفهومان بشريان يخدمان أوضاع الانسان ، وهما يستخدمان ، على أحسن تقدير ، فى العالم الفيزيائى لوصف التفاعلات ذات الاتجاه الزمنى الواحد بصيغة اضمحلال التنظيم ، الذى يعد فى حد ذاته مفهوما بشريا بحتا على نحو ما أشرنا •

وقد يكون من الأفضل كثيرا أن نعتبر الكون ظاهرة شاملة : أو بعبـارة عالم الرياضيات الألمـانى هـرمان ويل Herman Weyl (١٨٨٥ ـ ١٩٥٥) « العالم لا يحدث ، وانما هو ببساطة موجود » • ولا يحتاج الأمر أن تكون للعالم بداية ، لتسير المجريات فيه فى طريق مرسوم بدقة صوب نهاية غير معلومة • ويعد العالم على الأصح بمثابة مكان ـ زمان ، مادة وتفاعلات ، فى اطار امتداد من الماضى الى المستقبل ومن موقع الى موقع ومن حدث الى حدث فى شبكة شاسعة من التعقيد والوجود •

٧ ـ ٤ العقـل والـكون

وقد يبعث المنظور الكونى على الرهبة والاستـنارة ولكنه ليس بمنظور الجنس البشرى • فالانسان ينظر الى الكون من حوله ويسعى الى الفهم والتفسير والتبرير • وعلى خلاف وضـع الاله الذى يتجـاوز المكان ـ الزمان ، يعد الانســان جزءا من المكان ـ الزمان • ومن هذا المنطلق ، لا يتوافق ما ناقشناه فى هذا الكتاب من نظريات متعلقة بالكون مع المدارك الحالية للجنس البشرى • ويعزى ذلك الى أن البشر لا يرون « الظاهرة فى شموليتها » وانما يرون الكون من خلال نافذة صغيرة هى نافذة العقل البشرى •

ان الصورة التى نراها من خلال هذه النافذة تشبه « الفيلم السينمائى » .. انها بمثابة شريط يجرى، ويبدو العالم مليئا بالنشاط . لماذا ؟

ان الأشياء تحدث لأن الزمن « يجرى » . وهل هناك قول أكثر بداهة من ذلك ؟ ومع ذلك فكم هو غير مفهوم ! كيف يجرى الزمن ؟ والزمان هو جزء من المكان ـ الزمان ، فما هو الشئ الذى يجرى فيه الزمان ؟ وبأية سرعة هو يجرى ؟ أبسرعة يوم في اليوم ؟!

وكم يكتسى الانطباع بوجود زمان يجرى ويتدفق ويمر ـ زمان يجرى فيه النشاط فى اتجاه واحد ، من أهمية بالنسبة لكافة الممارسات والخبرات حتى انه يتخلل جميع مناحى المجتمع . وكم هى شديدة المقاومة لفكرة نبذ مرور الوقت كشىء وهمى ! .

ويتخذ الاحساس البشرى بالزمان عدة مستويات تتجاوز الزمان الفيزيائى فالفيزياء تميز بين الماضى والمستقبل بينما يفرق العقل بين الماضى « والحاضر » والمستقبل ، واننا « نتذكر » الماضى و « نخطط » للمستقبل ولكننا « نتحرك ونعمل » الآن . وتمثل اللحظة الراهنة لحظة تعاملنا مع الكون ـ ويمكن دائما أن نغير العالم فى هذه اللحظة .

ولكن ما هو « الآن » ؟ ليس هناك شىء من هذا القبيل فى الفيزياء ، بل انه ليس من الواضح حتى ما اذا كان بوسعنا أن نصف كلمة « الآن » ، ولا نقول نفسرها ، بلغة الفيزياء . ولنفترض على سبيل المثال تجريب ما يلى : لو قلنا ان « الآن » تعبر عن لحظة واحدة من الزمان ، فذلك يثير السؤال التالى : « أية لحظة هى ؟ » والرد هو « كل لحظة » . فكل لحظة من الزمان تصبح « الآن » عندما « تحدث » . غير أن ذلك يمثل الدوران فى حلقات مفرغة . ففى وقت تاليف هذا الكتاب كان عام (٢٠٠٠) فى المستقبل . ويوما ما سيكون عام (٢٠٠١) في الماضى . ورغم أن هذا العام يعد « الآن » في المستقبل فانه « سيحل » عندما تكون « الآن » هى سنة « ٢٠٠٠ » . ومن ثم فان نقول ان كل الأزمنة هى « الآن » فى حينها ، فهذا مجرد حشو لا معنى له ، وانما هو يصف الزمان ذا الاتجاه الواحد كمجموعة من « الآنات » بدلا من مجموعة من النقط ، انه مجرد اعادة ترتيب لفظى . وبالتالى فان المفاهيم من قبيل « الماضى » و « الحاضر » و « المستقبل » انما هى اصطلاحات لغوية أكثر منها علمية .

وفى مقابل هذا الطريق المسدود يمكن للعلم الفيزيائى أن ينجز تقدما محدودا للغاية فى المناقشة الخاصة بكلمة « الآن » . وعلى أية

حال ، فان نظرية النسبية الخاصة تلقى بالفعل بعض الضوء على هذا الموضوع • ولعلنا نسترجع ما ذكرناه فى القسم (٢ ـ ٢) من أن التزامن شىء نسبى • فليست هناك لحظة راهنة واحدة فى كل نقطة فى المكان • فالأحداث التى تجرى على مسافات سحيقة بحيث لا يمكن الربط بينها باشارات ضوئية لا يمكن أن يخصص لها ترتيب زمنى واحد بالنسبة لجميع المراقبين الموجودين فى حالة حركة • وهذا يعنى أن واحدا من خصائص هذا المفهوم العقلى المتمثل فى كلمة « الآن » ، وهو ان كل الناس أينما كانوا يعيشون « آن » واحدة ، هو تقدير استقرائى فى غير محله • فليس هناك « آن » واحدة عامة ، وانما كل شخص له « هنا » و « آن » • ويوضح ذلك بشدة أننا نعتبر العقل ، ليس العالم الفيزيائى ، هو مصدر تقسيم الزمان الى ماض وحاضر ومستقبل •

ومازال ينبغى علينا أن نؤكد أن « الآن » التى تعرفها مداركنا تبدو « تتحرك » بشكل مطرد من الماضى الى المستقبل • ويعد هذا التحرك • وليس عدم التناظر فى الذاكرة والتكهن ، هو المسئول عن التمييز الذهنى القوى بين الماضى والمستقبل • والانسان بصفة عامة لديه انطباع قوى بالمستقبل « القادم » وبالماضى « المنصرم » ، أما الحاضر فهو الحالة الوحيدة « الموجودة » • ومن ثم هناك نوع من الخلق الذهنى المتصل والمتمثل فى عالم جديد فى كل لحظة • وتعطى علاقة الترابط بين هذه العوالم المتتالية الانطباع بأن كل عالم يتغير الى العالم « التالى » •

ولا يظهر أى شىء من ذلك كله فى الفيزياء • فلم يحدث أن جرت تجربة فيزيائية لرصد مرور الوقت • وما أن يتعلق الأمر بالعالم الموضوعى الحقيقى فان مسالة مرور الوقت تختفى مثل شبح فى الظلام • ولابد من التسليم بأنه ، اذا لم تستبعد تماما ظاهرة « الآن » المتحركة ، فسيظل هناك شىء غير مفهوم بشأن الزمان أو العقل أو كليهما معا •

ولاشك أن المستقبل (لو كان له وجود) سوف يشهد ، فى اطار الصورة المتنامية لوضع الانسان فى الكون ، اكتشافات مفيدة بشأن المكان والزمان من شأنها ان تفتح آفاقا رحبة جديدة فى مجال العلاقة بين الانسان والعقل والكون •

الفهرس

مطابع الهيئة المصرية العامة للكتاب

رقم الايداع بدار الكتب ٩٨٠٤ / ١٩٩٨

I.S.B.N 977 - 01 - 5839 - 9



ومازال نهر العطاء يتدفق، تتفجر منه ينابيع المعرفة والحكمة من خلال إبداعات رواد النهضة الفكرية المصرية وتواصلهم جيلاً بعد جيل . ومازلنا نتشبث بنور المعرفة حقاً لكل إنسان ومازلت أحلم بكتاب لكل مواطن ومكتبة فى كل بيت.

شبَّت التجربة المصرية «القراءة للجميع» عن الطوق ودخلت «مكتبة الأسرة» عامها الخامس يشع نورها ليضىء النفوس ويثرى الوجدان بكتاب فى متناول الجميع ويشهد العالم للتجربة المصرية بالتألق والجدية وتعتمدها هيئة اليونسكو تجربة رائدة تحتذى فى كل العالم الثالث، ومازلت أحلم بالمزيد من لآلىء الإبداع الفكرى والأدبى والعلمى تترسخ فى وجدان أهلى وعشيرتى أبناء وطنى مصر المحروسة، مصر الفن، مصر التاريخ، مصر العلم والفكر والحضارة.

سوزان مبارك

مكتبة الأسرة

مهرجان القراءة للجميع ١٩٩٨

جنيه واحد

القراءة للج...
مهرجان صيف...
جمعية الرعاية المتكا...
مطابع الهيئة المصرية العامة...